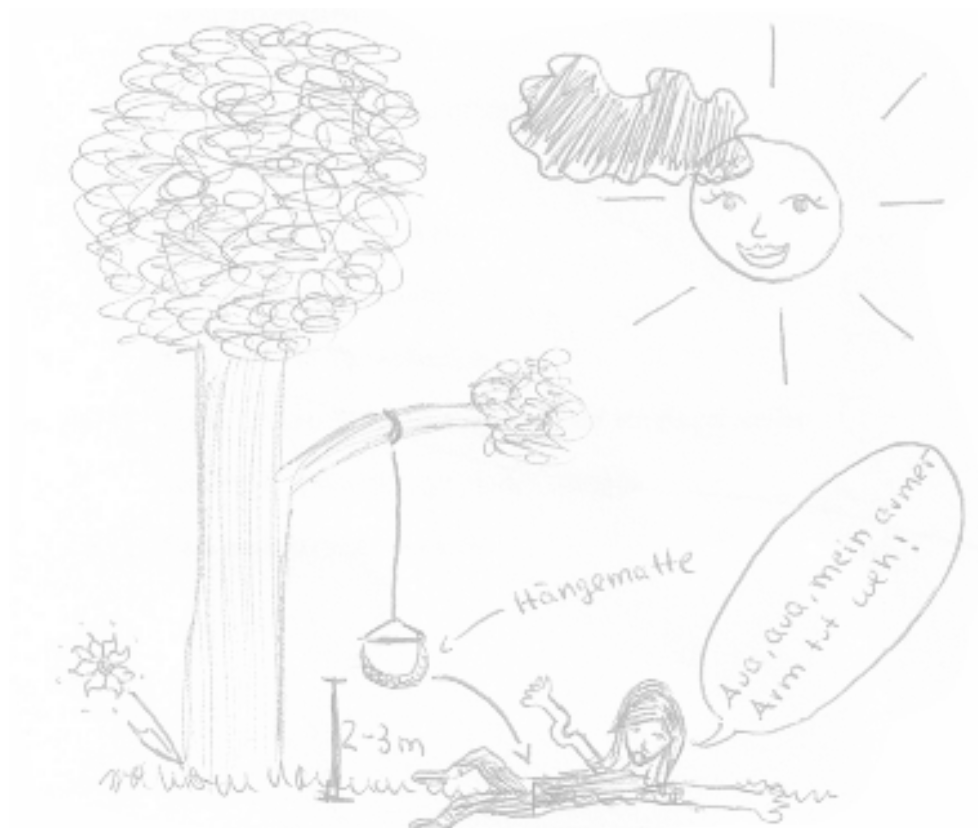


Die Therapie der dislozierten distalen Radiusfraktur im Kindesalter

Barbara Wieser



Aus der Kinderchirurgischen Klinik und Poliklinik
im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Dietrich von Schweinitz

**Die Therapie der dislozierten distalen Radiusfraktur
im Kindesalter**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Barbara Wieser
aus
Donauwörth
2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Georg Dietz

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Stephan Kellnar

Mitbetreuung durch
den promovierten

Mitarbeiter: Dr. med. Danielle Wendling-Keim

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen

Prüfung: 17.12.2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Einführung und Problemstellung.....	1
1.2	Anatomie.....	3
1.2.1	Der distale Unterarm.....	3
1.2.2	Besonderheiten des Knochenaufbaus des Kindes und sensible Strukturen.....	6
1.2.3	Darstellung im Röntgen.....	7
1.2.4	Physiologie und Pathologie der Bewegung.....	9
1.3	Phänomen und Potential des Remodelings.....	11
1.3.1	Remodeling als Phase des Heilungsprozesses.....	11
1.3.2	Der Korrekturmechanismus.....	12
1.3.3	Sonderstellung des distalen Radius.....	13
1.3.4	Grenzen und begrenzende Faktoren.....	14
1.4	Epidemiologie und Einteilung der Frakturen.....	17
1.4.1	Epidemiologie.....	17
1.4.2	Die PCCF- und Li-La-Klassifikation.....	18
1.4.3	Einordnung der Klassifikationen.....	20
1.4.4	Aitken- /Salter-Harris-Klassifikation.....	20
1.4.5	Klassifikation der offenen Frakturen.....	23
1.5	Unfallmechanismen und klinische Darstellung.....	23
1.5.1	Extensionsfraktur.....	23
1.5.2	Flexionsfraktur.....	24
1.6	Dislozierte distale Frakturmuster im Wachstumsalter.....	25
1.6.1	Grünholzfraktur.....	25
1.6.2	Frakturen mit Epiphysenfugenbeteiligung.....	26
1.7	Therapieoptionen der dislozierten distalen Radiusfraktur.....	27
1.7.1	Wahl der Therapie.....	27
1.7.2	Anästhesieverfahren.....	28
1.7.3	Konservative Therapie mit oder ohne Reposition.....	29
1.7.4	Operative Therapie mittels Kirschner-Drahtosteosynthesen.....	33
1.8	Häufige allgemeine Komplikationen.....	36
1.8.1	Die sekundäre Dislokation/Reangulation.....	36
1.8.2	Wachstumsstörungen.....	37
1.8.3	Weitere Komplikationen.....	38

2	Material und Methoden	39
2.1	Einschlusskriterien der Studie und Definition der Versorgungsarten	39
2.2	Methodik der Datenerfassung	40
2.3	Untersuchte Kriterien	41
2.4	Statistische Analyse	44
2.5	Nachuntersuchung - der Fragebogen	44
3	Ergebnisse	50
3.1	Epidemiologische Statistik	50
3.1.1	Altersverteilung	50
3.1.2	Geschlechtsverteilung	51
3.1.3	Frakturlokalisation	52
3.1.4	Unfallmonate	53
3.1.5	Unfallursachen	54
3.1.6	Unfallmechanismus	55
3.2	Frakturarten und damit verbundene Dislokationsrisiken	56
3.2.1	Allgemeine Frakturtypen	56
3.2.2	Komplette Unterarmfrakturen und isolierte radiale Frakturen	58
3.2.3	Frakturen mit und ohne distale Fugenbeteiligung	59
3.2.4	Angabe der Dislokationsrichtung	60
3.2.5	Angabe der Frakturlokalisation	61
3.2.6	Begleitverletzungen des gleichen Armes	62
3.3	Der primäre Behandlungszeitpunkt	63
3.4	Dauer des stationären Aufenthaltes im Therapievergleich	64
3.5	Anzahl der Röntgenkontrollen im Therapievergleich	65
3.6	Radiologischer Erkennungszeitpunkt einer sekundären Dislokation	68
3.7	Altersabhängige Konsolidierungszeit	69
3.8	Anzahl und Durchführung der Therapien	70
3.8.1	Primäre und sekundäre Versorgung in Zahlen	70
3.8.2	Primäre und sekundäre Versorgung in Abhängigkeit vom Alter	73
3.8.3	Einsatz der Fingerextensionshüllen bei der primären Versorgung	74
3.8.4	Eingesetzte Retentionsarten nach primärer Versorgung	75
3.9	Auftreten der sekundären Dislokation im Therapievergleich	79
3.9.1	Sekundäre Dislokation im Allgemeinen	79
3.9.2	Maximalwerte der Dislokation im Therapievergleich	80
3.10	Endresultate im Therapievergleich	85
3.10.1	Achsverschiebung nach Abschluss der radiologischen Kontrollen	85

3.10.2	<i>Differenzierte Beurteilung der Therapieergebnisse</i>	86
3.11	Allgemeine Komplikationen.....	96
3.12	Der Fragebogen	98
3.12.1	<i>Allgemeine Angaben</i>	98
3.12.2	<i>Die subjektive Zufriedenheit mit Funktion und Ästhetik im Therapievergleich.....</i>	100
3.12.3	<i>Auswertung des DASH-Scores und des alternativen Fragebogens im Therapievergleich</i>	102
3.12.4	<i>Armumfangsmessungen.....</i>	104
3.12.5	<i>Schmerz - Steifheitsgefühl - Kribbeln im Therapievergleich.....</i>	105
3.12.6	<i>Durchblutung, Sensibilität und Motorik im Therapievergleich.....</i>	106
4	Diskussion.....	107
5	Zusammenfassung	117
6	Abkürzungsverzeichnis.....	121
7	Abbildungsverzeichnis.....	123
8	Tabellenverzeichnis.....	125
9	Literaturverzeichnis.....	127
10	Anhang.....	141
10.1	Fragebogen mit Anschreiben.....	141
10.2	Lebenslauf.....	150
11	Danksagung.....	151

1 Einleitung

Die optimale Entscheidungsfindung bei der Behandlung von Brüchen im Wachstums- bzw. Kindesalter wird im Allgemeinen aufgrund der speziellen kindlichen Anatomie und den damit verbundenen Erfordernissen kontrovers diskutiert [1]. Den Operateur stellt diese Tatsache immer wieder vor neue Herausforderungen, vor allem bezüglich der Therapie der dislozierten distalen Radiusfraktur bei Kindern, deren Wachstum noch nicht abgeschlossen ist.

Diese spezielle Bruchform ist durch eine Reihe unterschiedlicher Frakturmuster, die Fülle an konservativen und operativen Behandlungstechniken sowie den besonderen Einfluss des skelettalen Wachstums und knöchernen Remodelings charakterisiert [2]. Zudem unterliegen auch die Erwartungen der Kinder und deren Eltern bezüglich einer optimalen ärztlichen Versorgung in Zeiten zunehmender Mündigkeit und kritischer Hinterfragung einem stetigen Wandel. Eine schnelle Rückkehr zu normaler Aktivität und die Vermeidung etwaiger Spätfolgen stehen dabei meist im Vordergrund.

Die hierzu durchgeführte Studie beinhaltet im Gegensatz zu den meisten anderen Untersuchungen [3] [4] [5] [6], neben einer großen Fallzahl, einen speziell an das Kindesalter angepassten Fragebogen, um auch den subjektiven Aspekt nicht zu vernachlässigen. Das rein retrospektive Design vergleicht vorwiegend die konservative Therapie mittels Reposition und Retention mit der osteosynthetischen Versorgung durch Kirschner-Drähte. Beide gelten als aktuell gängigste Optionen. Ziel ist es, einen möglichst unvoreingenommenen Blick auf die klinikinternen Ergebnisse der letzten sechs Jahre in der Behandlung der dislozierten distalen Speichenfraktur zu werfen.

1.1 Einführung und Problemstellung

Der Aphorismus „Frakturen bei Kindern heilen immer“ ist sicherlich mit Vorsicht zu betrachten, trotz der Sonderstellung dieser nahe der Wachstumsfuge gelegenen Fraktur [7] [8] [9]. Das Plädoyer für das Prinzip der „primär definitiven“ Frakturversorgung [10] [11] [12] ist und bleibt unangefochten, auch wenn dem nicht immer uneingeschränkt nachgekommen werden kann.

Als häufigste und wahrscheinlichste Komplikation der Behandlung gilt dennoch die sekundäre Dislokation [13], das erneute Abrutschen eines primär korrekt reponierten Bruches. Um dies zu vermeiden, findet das Einbringen sogenannter Kirschner-Drähte immer mehr Beachtung, zumal

im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte das Osteosynthese-Material vermehrt auf die anatomischen Verhältnisse der Kinder abgestimmt wurde [14]. So bestechen die verwendeten Kirschner-Drähte durch ihre entsprechend kleine Dimension bei genügender Stabilisierung und minimalinvasiver Traumatisierung. Der optische Vergleich zur adulten Kirschnerdrahtosteosynthese verdeutlicht die hier aufgeführten Unterschiede.

Diese vermeintlich sicherere Option scheint auf den ersten Blick den Goldstandard der konservativen Versorgung zu untergraben, jedoch wird selten berücksichtigt, dass hierfür- nach unserem Dafürhalten- generell das Risiko einer zweiten Narkose zur Metallentfernung auf sich genommen werden muss. Obgleich die funktionellen Langzeitergebnisse bei beiden Methoden - der Reposition auf der einen sowie der operativen Intervention mittels Osteosynthese auf der anderen Seite - vergleichbar sind [4] [15] [16], wurde in der Regel erst gar kein Bezug zum Outcome nach mehreren Jahren hergestellt [17] [5]. Den Fokus nur auf den momentan erreichten Therapieerfolg zu richten, sollte nicht als ausreichend erachtet werden. Daher fiel die Entscheidung in der hier vorgelegten Studie auf eine retrospektive Analyse, um bei der abschließenden Befragung auch einen genügend großen zeitlichen Abstand zum Unfallgeschehen erzielen zu können. Ein prospektives Design schließt sich für uns vor allem aus ethischen Gründen aus. Darüber hinaus herrscht weiterhin große Uneinigkeit bei der Indikationsstellung der operativen gegenüber der konservativen Behandlung.

Aufgabe dieser retrospektiven Studie ist es deshalb, beide vorherrschende Therapieoptionen miteinander zu vergleichen.

Rechtfertigt demnach die Sicherheit eines stabilen Ergebnisses durch Fixierung mittels Kirschnerdrahtosteosynthese wirklich den Einsatz einer zwangsläufig zweiten Narkose oder vermag eine Reposition das gleiche Ergebnis zu erzielen? Führt eine zweite Reposition bei eventuellem Abrutschen der Fraktur zu ungewollten Komplikationen wie Wachstumsstörungen [18] oder bietet sie eine gute Alternative zur sekundären Drahtversorgung und sollte demnach im Rahmen des bei Kindern wachstumsbedingt noch möglichen Remodelings bevorzugt werden?

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden radiologisch validierte Befunde und ärztliche Berichte von insgesamt 383 Patienten mit 393 dislozierten distalen Radiusfrakturen untersucht, die sich von Ende Juli 2005 bis Anfang November 2011 im Dr. v. Haunerschen Kinderspital in München vorstellten. Zudem wurde ein dem Alter (0-18 Jahre) der kleinen Patienten entsprechend modifizierter Fragebogen entwickelt, der sich an der deutschen Übersetzung des DASH-Score orientiert [19]. In erster Line soll durch diese Umfrage eine Art Langzeitergebnis und die nur wenig beachtete subjektive Zufriedenheit mit Ästhetik und Funktion des Therapieergebnisses im Behandlungsvergleich dargestellt werden.

1.2 Anatomie

Abraham Colles, bekannt als der führende wenn nicht sogar herausragendste irische Chirurg Ende des 18. bis Mitte 19. Jahrhunderts, gilt nicht nur als der Erstbeschreiber der klassischen Extensionsfraktur des distalen Radius und dessen klinischer Diagnostik [20], sondern auch als Wegbereiter der „practical application of anatomical researches to surgical uses“ [21]. Die Anatomie stellt also den Grundstein der Chirurgie dar. Deshalb soll im Folgenden kurz darauf eingegangen werden.

1.2.1 Der distale Unterarm

Der Unterarm, auch Antebrachium genannt, mit seinen paarigen Ossa antebrachii, bestehend aus Radius und Ulna, ähnelt in seiner Darstellung einem verbundenen Parallelogramm bzw. einem zusammengebundenen Paar Stöcke, so McRae und Esser in ihrem Buch „Praxis der Frakturbehandlung“ [22]. Damit konnten beide anschaulich den Mechanismus der unterschiedlichen Krafteinwirkungen bei Unterarmfrakturen darstellen. Verantwortlich für dieses Konstrukt ist, wie hier abgebildet (Abbildung 2), in erster Linie (neben dem proximal gelegenen Ligamentum anulare und dem distalen triangulären fibrokartilaginösen Komplex) die sich quer zwischen Elle und Speiche aufspannende Membrana interossea antebrachii. Diese wirkt nicht nur einer Längsverschiebung der Knochen entgegen, sondern verhindert auch eine übermäßige Supination und ist zugleich Ursprung der tiefen Extensoren und Flexoren. Würde man diese Membran in Längsrichtung durchschneiden, wie in experimentellen Vergleichsstudien bereits erfolgt, so zeigt sich, dass sie entgegen früherer Annahmen Druckkräfte, die über die Hand auf die Speiche wirken, nicht als Zugkräfte auf die Elle übertragen kann [23]. Der Stabilität sind also durchaus physiologische Grenzen gesetzt und ein konsekutiver Bruch bei Überschreitung bestimmter Limitierungen ist die Folge.

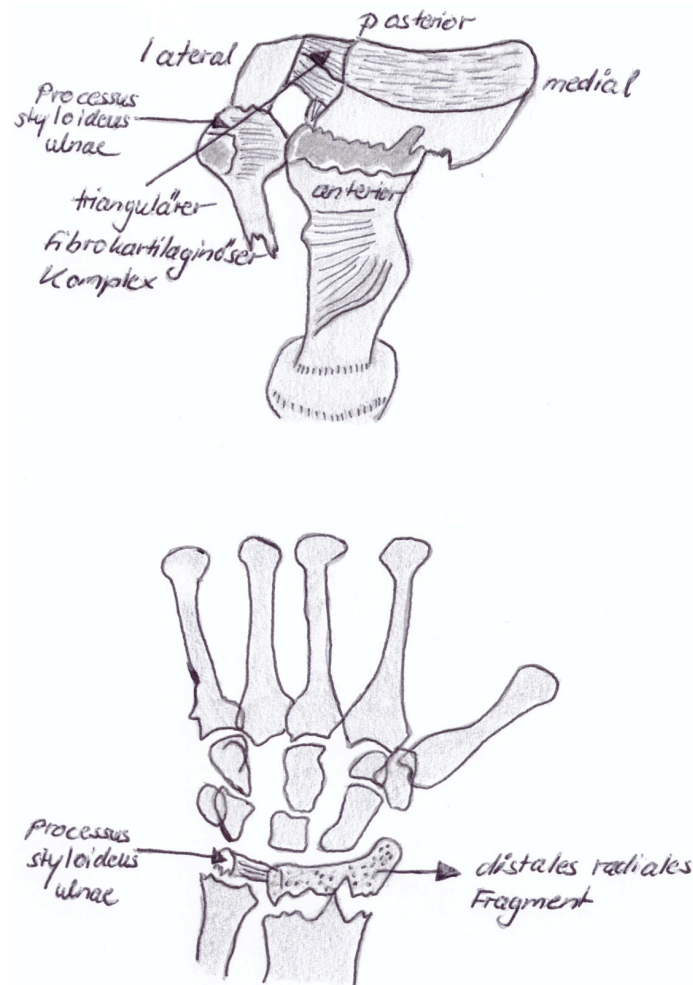


Abbildung 1: Darstellung eines distalen radialen Bruches (anteriore und laterale Sichtweise)

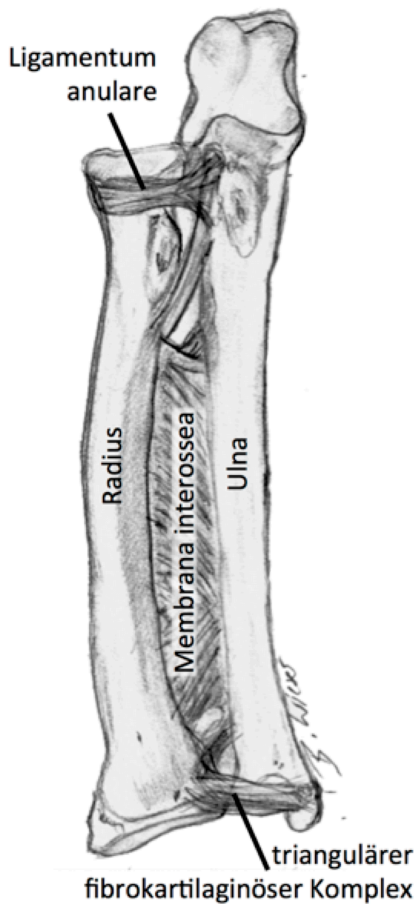


Abbildung 2: Radius und Ulna mit
Membrana interossea antebrachii

Ansicht von ventral in
Supinationsstellung

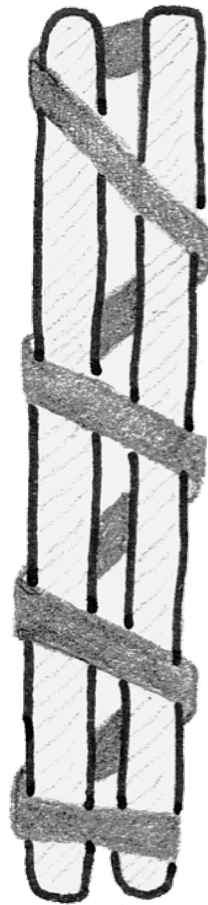


Abbildung 3: Radius und Ulna als
verbundene Stöcke

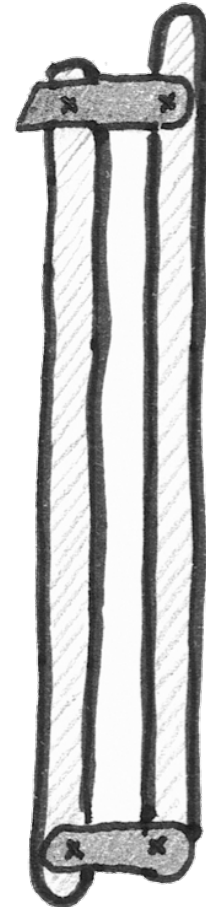


Abbildung 4: Radius und Ulna als
verbundenes Parallelogramm

Die Bezeichnung „distal“ stützt sich auf die Definition des metaphysären Bereiches (Abbildung 1) [22]. Der körperferne Bereich des Unterarmes umfasst demnach [22] den Abschnitt zwischen Knochenschaft und der Epiphyse und enthält per se bei Kindern die für das Längenwachstum verantwortliche Wachstumsfuge des Röhrenknochens. Allein der Eigenname der Colles-Fraktur legt mit 1,5 Inch, umgerechnet also circa 3,8 cm, eine sehr genaue Abgrenzung der handgelenksnahen Radiusfraktur fest [20].

Während das distale Ende des Radius mit den Handwurzelknochen des Os scaphoideum und des Os lunatum gelenkig verbunden ist, umgreift die Ulna an ihrem proximalen Endstück ähnlich einer Zange die Trochlea humeri und spielt somit die entscheidende Rolle bei der Artikulation der Unterarmknochen mit dem Humerus. Auch im Aussehen sind beide paarige Knochen

unterschiedlich zu bewerten. Während der Radius am distalen Ende deutlich an Breite gewinnt, erscheint die Ulna proximal wesentlich kräftiger als distal.

Die, je nach Ausbildung des bei Säuglingen und Kleinkindern meist stärker ausgeprägten subkutanen Fettmantels, mehr oder weniger gut tastbaren Knochenpunkte nach von Lanz-Wachsmuth sind in diesem Bereich die dorsale Kante der Ulna, der Griffelfortsatz der Elle und Speiche sowie der Processus styloideus ulnae bzw. radii [23]. Selbst die Tubercula ossis scaphoidei sind neben anderen Handwurzelknochen durchaus tastbar. Jedoch sollten bei schwerwiegendem Verdacht auf Fraktur-Mitbeteiligung des Kahnbeins, gerade im Jugendlichenalter, spezielle Röntgenaufnahmen erwogen werden, da klinische Zeichen wie Schmerzen im lateralen Handgelenk sowie Druckschmerz in der Tabatière keinen diagnostischen Frakturbeweis darstellen und die Ursache dieser Symptomatik genauso gut in einem Bruch des Processus styloideus radii begründet sein könnte [22].

1.2.2 Besonderheiten des Knochenaufbaus des Kindes und sensible Strukturen

Da Kinder die Fähigkeit nicht nur zum Dicken- sondern auch zum Längenwachstum besitzen, das ausschließlich in den noch nicht geschlossenen Epiphysenfugen [24] stattfindet, unterliegt ihr biologisch hoch aktiver Knochen einem ständigen Umbau [25]. Dadurch lassen sich auf mikro- und makroskopischer Ebene viele pädiatrische Frakturmuster erklären.

Trümmerbrüche sind bei Kindern äußerst selten. Eine Erklärung hierfür ist in der - im Querschnitt gesehen - größeren Porosität der Skelettstrukturen zu sehen. Ebenfalls eine Rarität stellt die intraartikuläre Fraktur dar. Einen effektiven mechanischen Schutz vor dieser bei Erwachsenen durchaus häufigen und komplikationsträchtigen Fraktur gewährleistet die weite Epiphysenfuge [26] [27]. Diese vermag zumeist als eine Art Puffer, Frakturen im Gelenkbereich abzufedern.

Insgesamt ist der noch im Wachstum befindliche Knochen bedingt durch den fortschreitenden Umbau des Havers-Systems sowie die ständig wechselnde Konzentration an Geflecht- und Lamellenknochen von Natur aus elastischer und besitzt ein straffes, dickes und ziemlich reißfestes Periost, das zudem vergleichsweise stark vaskularisiert und weniger fest mit dem Knochen verbunden ist. Diese Eigenschaften machen deutlich, weshalb die inkomplette Wulst- und Grünholzfraktur speziell den Kindern vorbehalten bleibt. Die Wulst- oder auch Torusfraktur soll dabei im Folgenden nicht weiter untersucht werden, zumal sie in der Regel nicht disloziert und durch einfache Schienung innerhalb weniger Wochen konsolidiert [26].

Da die Diaphyse schneller an Dichte zunimmt als die Metaphyse und im Laufe der individuellen Entwicklung zunehmend härter wird, bleibt die Metaphyse als aktivste Region des Knochens

länger fraktur anfällig. Sie besteht aus dünnem und fenestriertem kortikalen Lamellenknochen und einem beträchtlichen Anteil endostal gelegenen trabekulären Knochen. Im Gegensatz zur Diaphyse hat sie also aufgrund des schnellen Remodelings bzw. Umbaus keinerlei Zeit, strukturell adäquat auf einwirkende Kräfte zu reagieren. Die hohe Inzidenz der distalen Radiusfraktur ist somit verständlich, denn gerade am Übergang des Geflechtknochens der Metaphyse zur lamellaren Diaphyse, welche selbst als eine Art stress absorber fungiert, findet sich eine Vielzahl dieser Brüche [26] [28] [1] [29].

Auch in Bezug auf Frakturen mit Verletzung der Wachstumsfuge zeigt sich, dass der biologischen Aktivität des Gewebes auf Kosten einer strukturellen Integrität und Stabilität Tribut gezollt werden muss. So sind diese Traumata ebenfalls einzig bei Kindern und Jugendlichen zu finden. Dabei müssen die distalen Unterarmfugen, ebenso wie die proximale Humerusfuge, weil stark wachsend, sich aber erst spät verschließend, als Spezialfall angesehen werden [14].

1.2.3 Darstellung im Röntgen

Wilkins forderte bereits 2005 in einer Abhandlung über die Remodellierungs-Vorgänge genaue Kenntnisse der Röntgenanatomie und der Wachstumseigenschaften des Knochens sowie der speziellen pädiatrischen Frakturdynamik [7].

Das Wissen um die Ossifikationsvorgänge, als auch der Zeitpunkt des genetisch determinierten, geschlechtsspezifischen [30] Verschlusses der distalen Unterarmfugen ist essentiell zur korrekten Beurteilung des pädiatrischen Röntgenbildes nicht zuletzt, um eine Prognose bezüglich des noch verbleibenden Wachstums machen zu können. Individuelle Unterschiede in den jeweiligen Altersgruppen spiegeln sich hierbei in den zum Teil unterschiedlichen Literaturangaben wider [31] [23]. Die Verknöcherung im Schaftbereich beginnt laut von Lanz-Wachsmuth am Radius in der 7. Embryonalwoche und an der Ulna nur wenige Tage später [23]. Die Diaphyse ist also zum Zeitpunkt der Geburt im Normalfall bereits vollständig verknöchert [25]. Der Knochenkern der distalen Epiphyse zeigt sich bei beiden Unterarmknochen früher als der proximale. So tritt dieser bei der distalen Radiusepiphyse im 1.-2. Lebensjahr, beim proximal gelegenen Caput radii aber erst im 5.-7. Jahr auf. Ähnlich beim Caput ulnae im 5.-7., bei der Oleokranon-Apophyse aber erst im 8.-12. Jahr, wobei das proximale Ende der Elle zudem zum größten Teil von der Diaphyse aus verknöchert. Der Schluss der distalen Wachstumsfugen wird bei von Lanz-Wachsmuth mit dem 20.-25. Lebensjahr angegeben, also erst wesentlich später als bei den entsprechenden proximalen Fugen (Radius: 14.-20. Jahr; Ulna: 13.-17. Jahr) [23]. Schmittenebecher nennt einen Zeitraum von 17-18 Jahren beim Verschluss der hochreaktiven distalen Unterarmfugen [14] [32], wohingegen

Zachariou und Weinberg et al. weitestgehend konform mit von Lanz-Wachsmuth die Theorie des 20.-21. bzw. 24. Lebensjahr vertreten [33] [31].

Zu den Grundkenntnissen eines jeden Radiologen, Kinderchirurgen und Chirurgen gehört zudem die Sachkunde der korrekten radialen Inklinat ion und palmaren Neigung des distalen Radius. Beide werden häufig unter dem Begriff der Böhler-Winkel [34] zusammengefasst. Diese physiologischen Verhältnisse sollen nach Möglichkeit bei jeder Reposition, ob nun mit oder ohne Einbringung eines Spickdrahtes, stets wieder hergestellt und intraoperativ unter Durchleuchtung kontrolliert werden [35] [36].

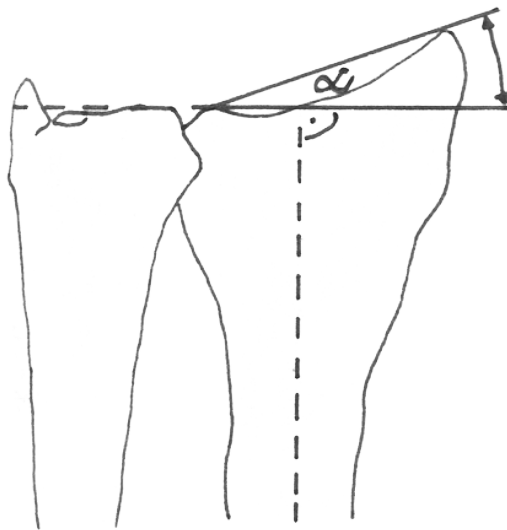


Abbildung 5: $\alpha=15-25^\circ$ Radiusbasiswinkel

(Böhler-Winkel a.p.)

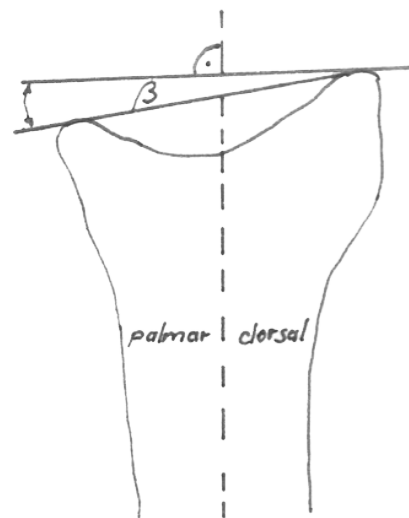


Abbildung 6: $\beta=10^\circ$ palmarer Kippwinkel

(Böhler-Winkel seitlich)

Die in Abbildung 5 und Abbildung 6 angegebenen Winkelwerte sind lediglich als Orientierungswerte gedacht, zumal sie innerhalb eines Normalkollektivs stark variieren können [37] [11].

Definiert ist der Radiusbasiswinkel durch eine Senkrechte zur Längsachse der Speiche auf Höhe des Radioulnargelenkes sowie einer Tangente an die ulnare Ecke der Speiche und den Processus styloideus radii. Die palmare Inklinat ion ist durch eine Verbindungslinie der dorsalen und palmaren Begrenzungspunkte einerseits und einer Senkrechten zur Radiuslängsachse auf Höhe des Processus styloideus radii andererseits festgelegt [36]. Die Tatsache, dass der Griffelfortsatz der Speiche weiter distal reicht als der Fortsatz der Elle, kann erste Hinweise zum Ausschluss einer Stauchungsfraktur geben [23]. Jedoch entziehen sich durch Wachstumsstörungen entstandene Ulna-Positiv- oder Ulna-Negativ- Varianten weitestgehend dieser klinischen

Untersuchung und sollten bei entsprechender Symptomatik einer radiologischen Diagnostik unterzogen werden [28].

1.2.4 Physiologie und Pathologie der Bewegung

Funktion und Form bzw. Anatomie sind eng miteinander verknüpft. Während durch die Gipsimmobilisation die vorübergehende Einschränkung der natürlichen Beweglichkeit zum Zweck einer bestmöglichen Retention des Repositionsergebnisses erforderlich ist, ist es natürlich Ziel jeder Behandlung die volle Funktionalität wiederherzustellen und das Phänomen des Remodelings dabei richtig einzuschätzen.

Objektiv wird die Gelenkbeweglichkeit durch die Neutral-Null-Methode gemessen. Dafür muss sich der Patient jedoch in einer „anatomischen Normalstellung“ [11] [38] befinden, um die fraglichen Winkel möglichst präzise mittels eines Winkelmessers zu bestimmen. Inwieweit die Compliance eines Kleinkindes/Kindes dies zulässt, muss individuell abgewogen werden.

Die Normalwerte werden einheitlich durch drei Gradzahlen, getrennt durch zwei Querstriche angegeben. Als Standardwerte des Handgelenks gelten demzufolge bei Dorsalflexion/Palmarextension $35-60^{\circ}/0^{\circ}$ / $50-60^{\circ}$, ferner bei Ulnarabduktion/Radialabduktion $30-40^{\circ}/0^{\circ}$ / $25-30^{\circ}$. Bei der Unterarmdrehung auswärts, auch Supination genannt, sowie der Drehung einwärts, Pronation genannt, ergeben sich folgende Werte: $80-90^{\circ}/0^{\circ}$ / $80-90^{\circ}$.

Im Rahmen von wenigen Langzeitstudien, die sich mit überwiegend objektiv bestimmten Spätfolgen der distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter auseinandersetzten, gaben Zimmermann et al. an, bei 16% ihres Patientenkollektivs Rotationseinschränkungen festgestellt zu haben, wobei diese primär auf eine vorausgegangene, ulnare Epiphysenlösung mit oder ohne metaphysären Keil zurückzuführen seien [28] [39]. Dem entgegengesetzt berichten Thomas et al. über Wachstumsstörungen mit Einschränkung der Umwendbewegungen aufgrund vorausgegangener, radialer Epiphysiolysen [40]. Eine sehr hohe Rate von 29% mit Rotations-Einschränkungen schreibt Roberts hingegen einer verbliebenen, restlichen Achsabweichung in der Frontalebene zu, weshalb die interossäre Spaltweite auf Höhe der Fraktur eingeschränkt sei [41]. Auch die Möglichkeit, dass bei palmarer Achsabweichung das distale Fragment oft einwärts gedreht, also proniert vorläge, und demzufolge zu einer verminderten Supination führe, wurde diskutiert [42]. Ebenso werden axiale Rotationen des distalen Bruchstücks, welche nicht ohne Weiteres durch Remodeling ausgeglichen werden können, als Ursache herangezogen, da hierdurch eine abnorme Spannung im Bereich der radioulnaren Bänder entsteht [43]. Ob letztlich wirklich eine restliche Achsabweichung für derartige Einschränkungen verantwortlich gemacht

werden darf, stellen Nilsson und Obrant jedoch in Frage [44]. Beide stellten trotz korrekter Reposition der Unterarmfrakturen, die auch bei der Abschlussuntersuchung ohne jegliche Achsabweichung blieben, im Erwachsenenalter deutliche motorische Einbußen fest, die folglich nicht durch bleibende Deformitäten zu erklären waren.

Generell wird bei der Supination und Pronation der Hand der Radius um die Ulna gedreht. Wird jedoch der Oberarm oder der komplette Körper mitbewegt und ist die Hand wie zum Beispiel beim Geräteturnen fixiert, so kann auch die Elle um den Radius geführt werden. Grenzen sind diesen Bewegungen per se durch die Anspannung der gedehnten Pro- und Supinatoren gesetzt. Zudem wird eine abnorme Pronation, bei der die Unterarmknochen im Gegensatz zur Supination über Kreuz liegen (vergleiche Abbildung 7 mit Abbildung 2), durch die darin eingezwängten Weichteile vermieden [23].



Abbildung 7: Unterarmknochen in Pronationsstellung

Legt man nun, wie in dieser Studie geschehen, das Augenmerk auf die subjektiv empfundene funktionelle Zufriedenheit, so muss stets bedacht werden, dass viele kleinere und auch größere (zum Teil Abkippungen bis zu 40°), durch genaue Messung zu verifizierende Bewegungseinschränkungen gut ausgeglichen werden können, insbesondere sofern sie lediglich die Speiche betreffen. Vom Patienten werden sie deshalb nicht als solche wahrgenommen [45] [46] [47] [48]. So erreicht man beispielsweise durch zusätzliche Bewegungen des Schultergürtels und des Rumpfes komplette Umwendbewegungen der Hand [23] [45].

1.3 Phänomen und Potential des Remodelings

Während Abraham Colles (*1773-1843) seinerzeit ohne die Möglichkeiten einer aseptischen Chirurgie, des Röntgens, der Elektrizität oder einer adäquaten Anästhesie [49] erstaunliche Erkenntnisse erlangte, so irrte er doch in einem wesentlichen Punkt. Seinen Ausführungen zufolge könne eine volle Funktionsfähigkeit bei unwiderruflich lebenslang bestehender Deformität erreicht werden [50]. Das ist heute nicht nur bezüglich der Erwachsenentherapie eindeutig widerlegt, sondern vernachlässigt auch den Aspekt des Remodelings [51] [26].

1.3.1 Remodeling als Phase des Heilungsprozesses

Ogleich das Längenwachstum über die Wachstumsfugen erfolgt, so ist das Dickenwachstum, welches über das periostendostale System agiert, sowohl verantwortlich für die Knochenbruchheilung als auch das Remodeling im Sinne einer Korrektur posttraumatisch belassener Fehlstellungen. Die Frakturheilung selbst unterliegt im Kindesalter nahezu immer einer sekundären Heilung [11], der sogenannten Spaltheilung, und verläuft bis zu doppelt so schnell wie beim Erwachsenen [33]. Ein fugenloses Aneinanderliegen der Fragmente und gute Durchblutung bei absoluter Ruhigstellung, als Voraussetzungen einer primären Kontaktheilung [38], sind selbst mit der besten Reposition und Gipsimmobilisation nur sehr selten zu bewerkstelligen. Genauso vermag eine lediglich als lagerungsstabil zu bezeichnende Kirschnerdrahtosteosynthese das nicht zu leisten. Diese sekundäre Heilung geht den Weg der endochondralen Ossifikation [32], entsprechend einer der zwei Möglichkeiten der Knochenentwicklung in der Embryonalzeit. Hierbei entsteht zunächst als Zwischenschritt ein Knorpel, der schrittweise durch Knochengewebe ersetzt werden muss. Die zugehörige Untergliederung dieses Prozesses in drei sich überlappende Phasen wurde unter anderem von Wilkins und Peterson beschrieben [7] [52] [53].

Die erste Stufe hierbei ist die inflammatorische Phase. Durch das Trauma kommt es zu einer periostalen Blutung und Zerstörung kleinerer Blutgefäße, wodurch die Entstehung eines Hämatoms hervorgerufen wird. In dieses wiederum wandern, getriggert durch Genexpressionen in den Knorpelzellen der Epiphysenfugen [32], verschiedene Zellen wie beispielsweise Fibroblasten und Makrophagen aus dem Blut ein, um schließlich in der darauffolgenden, reparativen Phase ein bindegewebig-knorpeliges Zwischengerüst, den typischen Fixationskallus, zu bilden. In den folgenden zwei bis drei Monaten verdickt sich zudem das Periost und der Frakturspalt wird aufgefüllt. Schrittweise wandelt sich der Kallus in neuen Knochen um. Die

remodellierende Phase als letzte nimmt wesentlich mehr Zeit in Anspruch und kann abhängig von verschiedenen Faktoren Monate bis Jahre andauern. Sie ist charakterisiert durch den Abbau nicht kalzifizierten Materials, einer Wiederauffüllung der entstandenen Hohlräume mit Knochenmark, aber vor allem durch einen Umbauvorgang im Sinne einer Korrektur von Fehlstellungen [32] [54]. Eine Ruhigstellung des Bruches ist jedoch nur bis zur sicheren Kallusüberbrückung nötig und setzt eine radiologisch verifizierte Abstützung an drei Kortikales in den üblichen Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen voraus, so Schmittenbecher [32].

Erwähnenswert ist auch, dass sich zu Beginn, aufgrund der Gefäßzerstörung, eine lokal begrenzte frakturnahe Nekrose entwickelt, dadurch erscheint der Bruchspalt größer und auch zunächst nicht darstellbare Haarrisse können bei einer radiologischen Kontrolle sieben bis zehn Tage später erkannt werden [22].

1.3.2 Der Korrekturmechanismus

Korrekturen meta- und diaphysärer Achsabweichungen werden durch periostalen Knochenanbau an der konkaven, Druck ausgesetzten Seite bzw. durch endostalen Knochenabbau auf der Zugseite vorgenommen, wobei sich die Knochenbälkchen entsprechend der axialen Beanspruchung neu ausrichten [7] [55]. Grundlage dieses Prinzips bilden Wolffs Transformationsgesetz aus dem Jahre 1892 sowie Roux darauf aufbauende Überlegungen Anfang des 20. Jahrhunderts. Wolff kam durch seine Untersuchungen am Femurkopf zu dem Schluss, dass Knochen bei entsprechender Belastung aufgebaut wird und an Festigkeit gewinnt, im Umkehrschluss aber bei mangelnder Belastung degeneriert. Er passt sich folglich in seiner Form der Funktion an [56]. Roux steht für den Grundsatz der funktionellen Anpassung durch Ausübung derselben. Mit einem Minimum an Material kann also ein Optimum an Belastbarkeit gewährleistet werden, entsprechend des zuvor beschriebenen periostendostalen Systems [57].

Beim epiphysären Remodeling handelt es sich jedoch nur um eine Art Scheinkorrektur. Es erfolgt zwar eine druckbedingte axiale Ausrichtung der Epiphyse im rechten Winkel zur Belastungsachse durch einseitiges vermehrtes Längenwachstum frei nach Pauwels Theorie [32], jedoch bleibt der eigentliche Fehler im Schaftbereich lange Zeit bestehen, um sich letztlich im Laufe der weiteren Entwicklung vollständig auszugleichen.

Aufgrund dessen erübrigt die Spontankorrektur also keineswegs eine möglichst ideale Frakturbehandlung und stellt eher eine physiologische Hilfestellung zur Optimierung des Behandlungsergebnisses dar.

1.3.3 Sonderstellung des distalen Radius

Die Epiphysenfuge des distalen Radius ist die flachste der sogenannten großen Fugen, zu denen auch die des proximalen und distalen Oberschenkels, des Schienbeins und des Oberarms zählen. Es besteht lediglich eine leichte Konvexität am Rand zur ulnaren Grenze. Im Laufe des Wachstums erscheint sie jedoch zunehmend wellig [58] und wird dadurch erst anfälliger für schwerwiegende Fugenverletzungen [26]. Zudem verfügt diese Fuge über zahlreiche kleine Gefäße, die aus der Umgebung einstrahlen und sie im Falle einer Verletzung vor ischämischen Nekrosen bewahren und die Knochenneubildung positiv beeinflussen [52] [32]. Insgesamt ist die hochprozentig wachsende und spät verschließende Fuge für circa 80% des Längenwachstums des Unterarms verantwortlich [59] [31]. Achsabweichungen in ihrer Nähe können also je nach Größe des Restwachstums wesentlich effektiver korrigiert werden [60] [12] als an niederprozentig wachsenden Fugen wie beispielsweise die des proximalen Oberschenkelknochens [45]. Ähnlich verhält es sich mit dem in der Literatur gleich hoch bewerteten Potential des proximalen Oberarms [30] [59]. Da die Spontankorrekturmechanismen beim distalen Radius äußerst zuverlässig auftreten, wurde bislang nur von notwendigen Korrekturosteotomien im Zusammenhang mit den seltenen Wachstumsstörungen berichtet [30].

Pritchett konnte 1991 anhand radiologischer Messungen nicht nur das große Potential beider Wachstumsfugen der distalen Unterarmknochen sowie des proximalen Oberarms prozentual genau angeben, sondern stellte zudem fest, dass der Beitrag der an den Enden des Radius befindlichen Fugen zum Längenwachstum nicht konstant sei [59]. Der Anteil der bei Weitem aktiveren, distalen Radiusfuge nimmt bis zum Erreichen der Hälfte des Wachstums schrittweise zu und wird dann erst konstanter. Mit fünf Jahren liegt der Wachstumsanteil der distalen Epiphysenfuge der Speiche am Längenwachstum des Unterarmknochens folglich bei 85% und steigt mit acht Jahren sogar auf einen Wert von 90% [61].

Bei all diesen Vorzügen der „günstig“ gelegenen, distalen Radiusfraktur darf aber nicht übersehen werden, dass aus einer eventuellen Fugenschädigung in gleichem Maße die Gefahr eines Fehlwachstums bzw. einer Wachstumsstörung resultieren kann. Im Gegensatz dazu können wenig aktive Fugen zwar kaum kompensieren, bringen aber auch gleichzeitig ein geringes Fehlwachstumspotential mit sich [14].

1.3.4 Grenzen und begrenzende Faktoren

Achsabweichungen in der Bewegungs- oder auch Sagittalebene korrigieren sich im Allgemeinen zuverlässiger als in der Frontalebene [11] [31]. Darüber hinaus ist die Fähigkeit, Seit-zu-Seit-Verschiebungen auszugleichen, größer als bei axialen Fehlstellungen [12]. Zudem werden volar belassene axiale Fehler zufriedenstellender beglichen als radiale oder ulnare. Eine diesbezügliche Ursache könnte, Kelley zufolge, in Wolffs Gesetz gesehen werden [26].

Im Schaftbereich regulieren sich Seit-Verschiebungen und Achsabweichungen mit Hilfe des periostendostalen Systems. Angrenzende Epiphysenfugen können sich orthograd zur Belastung aufrichten [62]. Dies weist mit 75% einen erheblichen Anteil an der Spontankorrektur auf, wohingegen das eigentlich gewünschte appositionelle Remodeling nur mit 25% gewertet wird [7]. Ryöppy und Karaharju konnten dieses Phänomen als Erste folgerichtig in einer experimentellen Studie nachweisen [63]. Als Mittelwert der monatlichen Korrektur im Bereich der radialen Wachstumsfuge gibt Friberg 1979 $0,9^\circ$ in dorso-volarer und $0,8^\circ$ in radio-ulnarer Richtung an, betont aber auch, dass es sich hierbei, im Gegensatz zum linear zunehmenden Längenwachstum, um eine exponentielle Funktion handelt. Diese ist umso größer, je ausgeprägter der primäre Achsfehler ist, zugleich aber vom Alter des Kindes und vom exakten Abstand innerhalb des von Friberg festgelegten distalen Fünftels des Unterarms unabhängig [62].

Verkürzungen werden nur ungezielt durch eine posttraumatische Wachstumsstimulation beseitigt. Zwar ist mit solch einer Stimulation immer zu rechnen, jedoch kann diese auch über das Ziel hinausschießen und eine Verkürzung in eine Verlängerung verwandeln. Ihre Beeinflussung sollte also nicht Teil des Therapiekonzeptes sein [11]. Ein positiver Aspekt der oberen, nicht belasteten Extremitäten im Vergleich zu den unteren ist dabei, dass durch Wachstumsstimulation verursachte Längendifferenzen nicht so sehr ins Gewicht fallen und keine funktionellen Beeinträchtigungen nach sich ziehen [30]. Eine der wichtigsten Limitierungen der Remodellierung stellen Rotationsfehler dar. Diese können nämlich nur sehr schlecht reguliert werden, indirekt und quasi zufällig aufgrund natürlicher Derotationsvorgänge, die am Unterarm allerdings bislang gar nicht beschrieben wurden [30] [46].

Als grundsätzlich begrenzende Faktoren aller Korrekturmechanismen sind das Alter, die Lokalisation, genauer gesagt die Nähe zu einer bestimmten Fuge und deren Potential, das restliche zu erwartende Wachstum und nicht zuletzt das Ausmaß der Dislokation und dadurch notwendigen Korrektur sowie die Richtung der Korrektur zu berücksichtigen [7] [12] [30]. Zimmermann et al. konnten jedoch keinerlei Unterschiede bezüglich der Spontankorrektur bei palmarer oder dorsaler Abweichung feststellen [42]. Auch die Nähe der Fraktur zu einer Ebene

der Bewegung, also nahe des Handgelenks, spielt eine entscheidende das Remodelingpotential unterstützende Rolle [26].

Wo genau die Grenzen bezüglich des Alters und der noch akzeptablen Gradzahlen zu stecken sind, ist deshalb schwierig zu bestimmen und ruft immer noch die verschiedensten Meinungen hervor. So findet sich aber der größte Konsens bei der Altersbegrenzung. 10 Jahre gilt oftmals als Grenze zur Integration der Spontankorrekturen in die Primärtherapie [62] [64] [65] [66] [67] [68] [30] [69] [27] [14] [31] [70] [48] [28].

Eine Vergleichstabelle (Tabelle 1) der gängigsten und wohl am meisten geachteten, primär akzeptablen und damit dem Remodeling überlassbaren Grad- und Altersgrenzen im Bereich des distalen Unterarms ist hier aufgeführt.

Als Fazit bleibt festzuhalten: Je näher die Fraktur zu einer aktiven Fuge gelegen ist und je jünger das Kind, desto günstiger ist die Prognose bei nach Therapieende noch vorhandenen Achsfehlern zu stellen [64] [26] [67] [71].

Tabelle 1: Primär akzeptable Grad- und Altersgrenzen

Quelle	Ebene	Alter in Jahren	Grad °	Seit-zu-Seit- Abweichung
Ploegmakers et al. [8]	frontal	≤13	≤10	
Ploegmakers et al. [8]	sagittal	≤13	≤30-35	
von Laer et al. [30]/Uhl et al. [29]	Seit- zu Seit	≤10-12		1 Schaftbreite
Linhart et al. [66]	sagittal	≤12-13	≤20-30	
Oberle et al. [72]	frontal/sagittal	≤10	≤40	
Oberle et al. [72]	frontal/sagittal	>10	≤20-30	
Oberle et al. [72]/Täger et al. [27]	Seit-zu Seit			¼ Schaftbreite
Hughston [65]	frontal/sagittal	<10	≤30-40	
Larsen et al. [73]	sagittal	≤11	≤28	
Oenne et al. [68]	frontal/sagittal	≤10	≤20-25	
von Laer et al. [30]/Täger et al. [27]	frontal/sagittal	<10-(12)	≤40-50 auch bei Epiphysiolysen	
Zimmermann et al. [42]	frontal/sagittal	Jedes Alter	≤20	
Johari et al. [74]	frontal/sagittal- Aufrichten der Epiphyse	≤15	generell	
Plànka et al. [75]	frontal/sagittal	≤12	8-≤ 30	
Weinberg et al. [31]	frontal/sagittal	<12	≤30	
Weinberg et al. [31]	Seit-zu-Seit	<12		1 Schaftbreite ohne Verkürzung
Czerny et al. [71] (Literaturvergleich 1962-1991)	frontal/sagittal	≤10	≤15-40	
	Seit-zu-Seit	≤10		½-1 Schaftbreite
	frontal/sagittal	≥10	≤15	
	Seit-zu-Seit	≥10		½ Schaftbreite

1.4 Epidemiologie und Einteilung der Frakturen

Die Bestrebungen, eine einheitliche Sprache [76] bei der Beschreibung der unterschiedlichsten Frakturen im Kindesalter zu sprechen, haben bereits konkrete Formen angenommen, werden bislang jedoch nur zögerlich angenommen. Es wäre von entscheidendem Vorteil national, wenn nicht sogar international, Vergleiche zwischen den immer größer werdenden Patientenkollektiven speziell der distalen Radiusfraktur ziehen zu können. Nicht zuletzt soll mit Hilfe „einer“ umfassenden Klassifikation eine bessere Prognosestellung und Therapieempfehlung ermöglicht werden.

1.4.1 Epidemiologie

Im Schnitt werden pro Jahr circa 25% aller Kinder beim Spielen oder im Rahmen alltäglicher Aktivitäten verletzt [77], dabei entfallen 10-25% der Unfälle auf Frakturen [78] als dritthäufigste Verletzungsfolge nach Prellungen, Verstauchungen und offenen Wunden [79]. Landin gibt sogar an, dass Frakturen nach vollendetem 13. bzw. 14. Lebensjahr insgesamt doppelt so häufig auftreten würden. Demnach liege das Risiko, bis zum Alter von 16 Jahren einen Knochenbruch zu erleiden, bei Jungen bei 42%, bei den meist weniger risikofreudigen und daher in geringerem Maße gefährdeten Mädchen bei 27% [78] [80]. Der Kindernotarztdienst der Landeshauptstadt München verzeichnete laut einem Bericht von Lehner et al. im Oktober 2010 4% Extremitäten-Brüche, neben 7% Schädelhirntraumata von insgesamt 15% verletzungsbedingt eingehenden Notrufen [81].

Bezüglich aller Frakturen im Wachstumsalter tritt zahlenmäßig die Fraktur des distalen Radius am häufigsten auf [82] [78] [80]. Laut Örne und Sandblom [68] betrifft während des Wachstumsalters sogar jede fünfte Fraktur das distale Unterarmdrittel. So entfielen in Edinburgh (Schottland) im Jahr 2000 82,2% der knapp 2200 untersuchten Frakturen auf die obere Extremität und im Vergleich von insgesamt 27 verschiedenen Frakturtypen 32,9% auf die distale Speiche bzw. Elle [80]. Rennie et al. ordnet 6 Inzidenzkurven 16 im Kindesalter typischen Frakturen zu. Die Brüche des distalen Radius, des proximalen Humerus, der proximal gelegenen Enden beider Unterarmknochen sowie der Zehenglieder bilden eine Verteilungskurve. Sie zeigt, dass unter 12 Jahren mehr Mädchen betroffen sind, jedoch darüber der Anteil der männlichen Patienten steigt [80] [83]. Ein Peak findet sich bei den 9- bis 10-jährigen. Die häufigste Ursache für einen Bruch der körperfernen Speiche ist ein Sturz aus einer Höhe unter einem Meter [80].

Während jüngere Kinder eher Frakturen des Schlüsselbeins oder distalen Humerus ereilen, zeigen sich typische distale Speichenbrüche vorwiegend zwischen dem 4. bis 14. Lebensjahr. Frakturen der Mittelhand treten entsprechend später um das 15./16. Lebensjahr auf [80]. Die im Gegensatz zu Erwachsenen generell nahezu doppelt so hohe Frakturinzidenz bei Kindern mit dem Gipfel der distalen Radiusfraktur um die frühe Jugend, also der Zeit des pubertalen Wachstumssprints [84], erklärt Parfitt 1994 so [85]: Die Ursache liege in der vorübergehenden kortikalen Porosität zum Zeitpunkt des maximalen Längenwachstums und vermehrten Knochenumbaus aufgrund des dadurch erhöhten Calciumbedarfs. Zudem sei seine vermehrte körperliche Aktivität, die Kinder zumeist zeigen, auch notwendig um mehr Knochenmasse aufzubauen [85]. Distale Unterarmfrakturen sind also unvermeidlich und der Preis, den man zahlen muss, um auch das Frakturrisiko im Alter durch adäquaten Knochenaufbau in der Jugend zu senken [85].

Nicht nur während der 1950er bis Ende der 1970er Jahre stieg die Inzidenz der Frakturen um knapp das Zweifache an [78], sondern auch zwischen vier weiteren Untersuchungsdekaden bis einschließlich 2001 war eine deutliche Zunahme der distalen Radiusfraktur zu verzeichnen [83]. Ob dies einem veränderten sportlichen Verhalten, dem im Umbau befindlichen Knochen oder beidem zu schulden ist, bleibt unklar. Ebenso umstritten ist, ob veränderte Ernährungsgewohnheiten und damit assoziiertes Übergewicht, durch eine Überladung des Skeletts, das absolute Risiko der distalen Radiusfraktur erhöht [86].

1.4.2 Die PCCF- und Li-La-Klassifikation

Bis vor wenigen Jahren existierte keine Klassifikation eigens für Frakturen im Kindesalter. Versuche, die bei Erwachsenen allgemein angewandte AO-Klassifikation von Müller auf Kinder zu übertragen, wurden schnell verworfen [87]. Schließlich ist aufgrund der speziellen Anatomie und der Besonderheiten des wachsenden Skeletts weder ein therapeutischer Hinweis noch eine Staffelung in unterschiedliche Schweregrade davon ableitbar [88]. Die Wahl der geeigneten Therapie richtet sich darüber hinaus vorwiegend nach dem Alter des Kindes und der Lokalisation bzw. Dislokation der Fraktur, weniger nach der Frakturmorphologie [89]. Die AO-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter, auch Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF) genannt, sowie die Li-La-Klassifikation wurden an die pädiatrischen Eigenheiten angepasst.

Die PCCF wurde von der AO Pediatric Expert Group in Zusammenarbeit mit der AO Investigation and Documentation Working Group for Pediatric Traumatology entwickelt [31]. Im Wesentlichen basiert sie auf der AO-Klassifikation der Erwachsenen, wobei die Frakturbeschreibung ebenfalls

einem alphanummerischen Code folgt. Der Schlüssel einer exemplarisch gewählten, metaphysären, vollständigen distalen Radiusfraktur könnte wie folgt lauten: „2r3M/3.1“.

Übersetzt in die von der gemeinnützigen Organisation Li-La e.V (Licht und Lachen für kranke Kinder) ins Leben gerufene Li-La-Frakturklassifikation Version 2 [89], bietet sich jedoch ein ganz anderes Bild der gleichen distalen Speichenfraktur: „2.3.a.5.1.“.

Beide beschreiben die genaue Lokalisation der Fraktur und die entsprechende Morphologie [87]. Die jeweils letzte Zahl entspringt bei allen zweien rein subjektiven Entscheidungen bezüglich der Einschätzung der Schwere einer Dislokation bzw. der Beurteilung der Instabilität. Ausnahmen und andersartige Besonderheiten bedingen je eine sechste zusätzliche Ziffer.

Der wesentlichste Unterschied der Li-La-Klassifikation zur PCCF besteht darin, dass Epiphysiolyse, ob mit oder ohne metaphysärem Keil, zu den am weitesten peripher gelegenen Schaftfrakturen statt zu den Epiphysen gezählt werden [90] [87]. Die Zahl 5 ist zudem stellvertretend für eine Reihe sogenannter „anderer Frakturen“ zu sehen. Die metaphysäre Fraktur ist ja im eigentlichen Sinne keine Gelenkfraktur wie hier durch a (artikular) angegeben, sondern eine Übergangsfaktur und wird demnach zum Zwecke der Vereinfachung grundsätzlich unter 5 subsumiert [31].

Gemein ist beiden die Definition der Metaphyse durch ein Quadrat über die gesamte Länge der Wachstumsfuge. Die Kantenlänge entspricht also der weitesten Strecke der Fuge in der a.p.-Röntgenaufnahme ohne Einbezug der Prozessi. Bei paarigen Knochen wie denen des Unterarms werden allerdings bei der PCCF die Fugen beider Knochen einbezogen [89], wie auch in dieser Arbeit anhand der radiologischen Auswertungen ersichtlich wird.

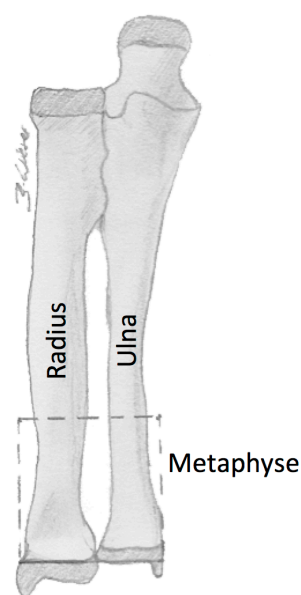


Abbildung 8: Definition der Metaphyse M laut PCCF

1.4.3 Einordnung der Klassifikationen

Die Güte einer Klassifikation basiert vor allem auf einer guten intra- und interindividuellen Reproduzierbarkeit. Das bedeutet, dass die gleiche Person bei wiederholten Beurteilungen von entsprechenden Röntgenbefunden stets zum gleichen Ergebnis kommen sollte, ebenso wie verschiedene Fachkundige untereinander nicht zu stark abweichen dürfen [90]. Sowohl die PCCF als auch die Li-La-Klassifikation wurden mehrfach nach entsprechenden Modifikationen validiert und erzielten insgesamt sogar weitaus bessere Ergebnisse als die AO-Klassifikation der Erwachsenen [91]. Diese wird vor allem beim Einsatz der adulten, distalen Radiusfraktur als schlecht beschrieben [92] [93]. Um genau selbige hohe Zuverlässigkeit bei verschiedenen Testphasen [94] der Klassifikationen zu erreichen, wurden beide Einteilungen entsprechend vereinfacht, indem die Grünholzfraktur und Wulstfraktur zu einer Gruppe zusammengefasst wurden [90] [76]. Dem stehen allerdings kritische Stimmen entgegen, da die Therapie beider Frakturen keineswegs als einheitlich zu verstehen ist [95] [96] [26]. Die Tatsache, dass eine Beurteilung dessen, was als tolerable Dislokation anzusehen ist, rein subjektiv getroffen wird, stellt hingegen ein notwendiges Übel dar, will man die mögliche Spontankorrektur der Frakturen nicht vernachlässigen [90]. Eine permanente Anpassung an die aktuellen, multiplen Literaturmeinungen (siehe Tabelle 1) sowie die Rücksicht auf die Meinung des Kindes und vor allem der Eltern diesbezüglich macht daraus einen dynamischen Prozess und erschwert den geforderten multizentrischen Vergleich über längere Zeiträume.

Die Definition der Metaphyse über ein Quadrat entstammt ebenfalls der Zielsetzung, eine funktionierende Klassifikation zu entwerfen, wobei großen Wert auf die korrekte a.p.-Aufnahme gerichtet werden muss, um Fehlklassifikationen zu vermeiden.

Das Manko aller Klassifikationen besteht aber darin, dass noch keinerlei Therapieempfehlungen dadurch ausgesprochen werden konnten. Die Vielzahl an Verletzungsmustern in unterschiedlichen Altersstufen und die Tatsache, dass bei allen Kindern der Wachstumsabschluss zur korrekten Einschätzung des Therapieerfolgs abgewartet werden müsste, erschweren dieses erklärte Ziel der Zukunft.

1.4.4 Aitken- /Salter-Harris-Klassifikation

Das mitunter größte Problem der Klassifizierung bereitet die Gegend rund um die Wachstumsfuge. Sowohl die PCCF als auch die Li-La integrieren in ihre Einteilung die wohl bekanntesten Klassifikationen epiphysärer Verletzungen nach Aitken [18] bzw. Salter & Harris

[24]. Beide befassen sich lediglich mit den die Epiphysenfugen betreffenden Brüchen und werden in Tabelle 2 gegenübergestellt. Petersons Sonderform der Fugenverletzung, bei der ausgehend von einer Querfraktur in der Metaphyse eine zusätzliche Fraktur bis zur Epiphysenfuge reicht, wurde nicht berücksichtigt [97].

Kritisch zu sehen ist laut von Laer et al. [87] die Tatsache, dass die Lokalisation der Fraktur unmittelbar mit der Wachstumsprognose verbunden wird. So würden Aitken 0/1 meist eine positive, Aitken 2/3 Frakturen jedoch eine negative Prognose zur Folge haben. Aus heutiger Sicht spielen das Alter des Kindes, das Potenzial der jeweiligen betroffenen Fuge und das Ausmaß der Dislokation eine weitaus größere und aussagekräftigere Rolle als die genaue Position des Traumas.

Tabelle 2: Einteilung epiphysärer Frakturen nach Aitken/ Salter & Harris

Aitken	Salter/Harris	Fraktur	Beteiligung der Reservezone
0	I	Isolierte Epiphysiolyse (extraartikulär)	Nein
1	II	Epiphysiolyse mit metaphysärem Knochenfragment (extraartikulär)	Nein
2	III	Epiphysenfraktur mit epiphysärem Fragment (intraartikulär)	Ja
3	IV	Epiphysenfraktur mit epiphysär-metaphysärem Verlauf (intraartikulär)	Ja
	V	Kompression der Fuge ohne Lösung oder Fraktur (Crush-Verletzung)	Ja

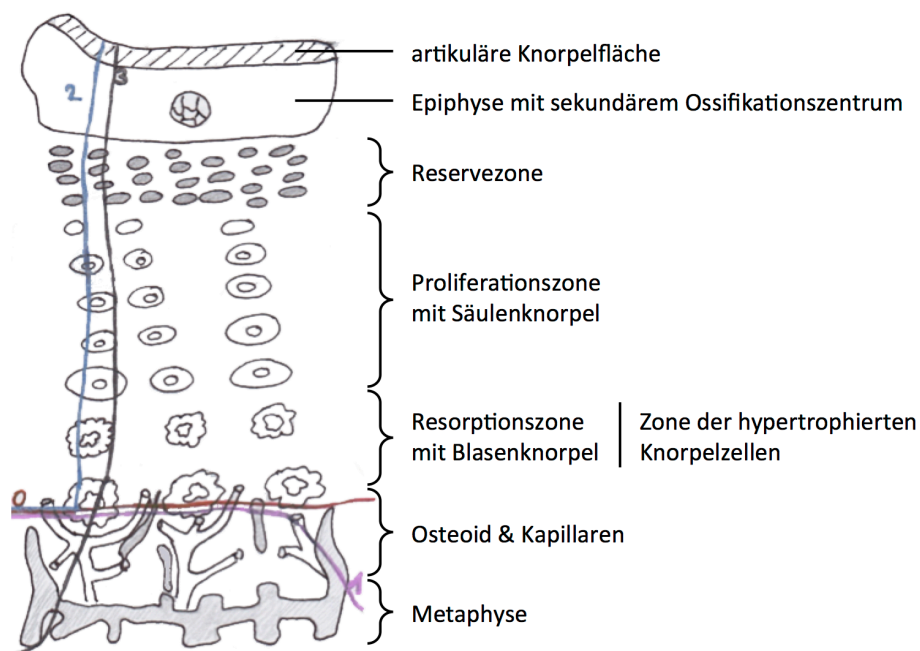


Abbildung 9: Epiphysenfugen-Verletzungen nach Aitken

1.4.5 Klassifikation der offenen Frakturen

Sofern die Haut über Frakturen intakt ist, spricht man von geschlossenen Knochenbrüchen. Kommt es jedoch durch Haut- und Weichteilverletzungen zu einer Verbindung zwischen Fraktur und Außenwelt, so resultiert das Bild einer offenen Fraktur. Die Einteilung in vier Schweregrade stellt sich wie folgt dar [38]:

Tabelle 3: Klassifikation der offenen Frakturen

Grad I°	Grad II°	Grad III°	Grad IV°
Durchspießung von innen nach außen; minimale Verletzung der Weichteile	Durchspießung von außen nach innen; geringe Verletzung der Weichteile	Freiliegende Fraktur; schwerster Weichteilschaden, Gefäß- und Nervenschäden möglich	(Sub-) Totale Amputation

Beim Kind lässt sich jedoch im Gegensatz zum Erwachsenen kein Rückschluss von der Art der Weichteilverletzung auf die Kompliziertheit der Fraktur ziehen. Die üblichen Frakturmuster der geschlossenen Brüche entsprechen denen mit augenscheinlich komplexen äußeren Wunden [14].

1.5 Unfallmechanismen und klinische Darstellung

Meist wird der handgelenksnahe Speichenbruch durch indirekte Krafteinwirkung im Sinne eines Sturzes auf die ausgestreckte Hand verursacht [22]. Ob nun die Dorsal- oder Ventralseite betroffen ist, kann durch zwei grundsätzlich zu unterscheidende Frakturmechanismen erklärt werden. Deren Kenntnis ist Voraussetzung zur Durchführung einer erfolgreichen Reposition.

1.5.1 Extensionsfraktur

Durch einen Sturz auf die 40-90° dorsal-flektierte [35], also überstreckte Hand entsteht die sogenannte Colles-Fraktur, benannt nach ihrem Erstbeschreiber. Vor Abraham Colles wurde allein aufgrund des typischen klinischen Bildes eher eine Dislokation der Handwurzelknochen als eine wirkliche Fraktur vermutet [21]. Auch wird von der distalen Radiusfraktur des Extensionstyps bzw. der *Fractura radii loco typico* insbesondere beim Erwachsenen gesprochen. Das handgelenksnahe Fragment wird bedingt durch die leicht schräge Krafteinwirkung nach dorsal und radial disloziert [22]. Bei entsprechend großer Krafteinwirkung schiebt sich zusätzlich der Schaft des distalen Radius in das distale Fragment und führt dadurch zu einer Eintauchung. Der

mit 25% aller Frakturen absolut häufigste Knochenbruch erinnert in seitlicher Ansicht, bei entsprechend ausgeprägter Dislokation, an die Form einer Gabel, wobei die Finger die Gabelzacken darstellen [22]. Diese Fourchette-Stellung wird durch die dorsale Abknickung hervorgerufen. Bei entsprechend palmarer Ansicht erinnert die Fehlstellung bedingt durch die radiale Fragmentverschiebung an ein Bajonett [98].

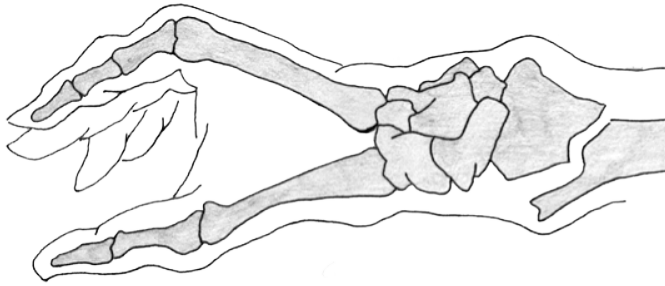


Abbildung 10: Colles-Fraktur

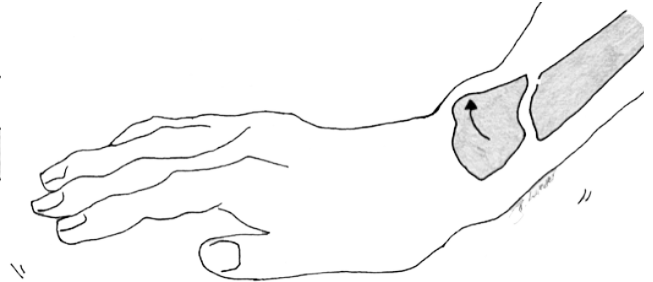


Abbildung 11: angedeutete Fourchette-Fehlstellung

1.5.2 Flexionsfraktur

Wesentlich seltener entsteht die distale Radiusfraktur vom Flexionstyp aufgrund eines Sturzes auf den palmar-flektierten, gebeugten Handrücken. Bei der als Smith- oder reversen Colles-Fraktur bekannten Verletzung ist das distale Bruchstück nach radial und volar disloziert. Es zeigt sich demzufolge ein palmarer Achsenknick mit volarer Absenkung des Fragments. In der anterior-posterioren Röntgenaufnahme können beide Frakturtypen jedoch gleich aussehen und in der lateralen Aufnahme ist eine Unterscheidung nur aufgrund der umgekehrten Seitenverhältnisse ersichtlich [22].

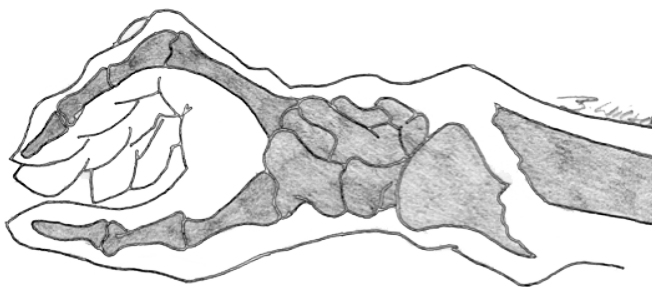


Abbildung 12: Smith-Fraktur

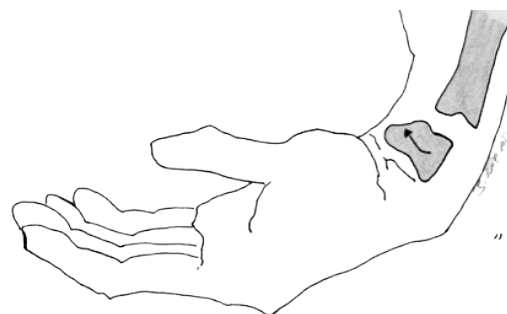


Abbildung 13: Fehlstellung der Smith-Fraktur

Leitsymptome beider Mechanismen sind der Druckschmerz über dem distalen Unterarm, die zum Teil erhebliche Weichteilschwellung sowie eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung bei

eventuell sichtbarer Deviation [31]. Auch Sensibilitätsstörungen müssen entsprechend überprüft und dokumentiert werden.

1.6 Dislozierte distale Frakturmuster im Wachstumsalter

Die Dislokation als Bezeichnung für Knochenfragmente, die aus ihrer anatomischen Lage verschoben wurden, bezieht sich in der genauen Richtungsangabe stets auf die Lageveränderung des distalen Fragments. Dabei sind Abknickungen in vertikaler Achse (ad axim), seitliche Verschiebungen (ad latus), Längsverschiebungen (ad longitudinem) sowohl mit Verkürzung (cum contractione) als auch mit Verlängerung (cum distractione), genauso wie Verdrehungen um die Längsachse (ad peripheram) denkbar [35]. Zwei spezielle dislokationsgefährdete Frakturmuster, ausgenommen der vollständigen Fraktur, werden kurz dargestellt.

1.6.1 Grünholzfraktur

Grünholzfrakturen sind definiert als Brüche, bei denen die Kortikalis und das Periost der Konvexseite unter Zugbelastung komplett gebrochen sind. Die der Krafteinwirkung entgegengesetzte Konkavseite hingegen erscheint makroskopisch intakt, ist aber angebrochen und dementsprechend gestaucht [28]. Meist liegt diese spezielle Biegungsfraktur [11] am diaphysären Übergang [69]. Röntgenologisch zeigt sich zu Beginn häufig nur eine gering ausgeprägte Achsabweichung [30]. Bezüglich der primär fraglichen Stabilität [43] [96] und der adäquaten Therapie herrscht Uneinigkeit. So wird auch Evans [99] Theorie zum Mechanismus und der Behandlung der Grünholzfraktur aus dem Jahre 1951 kontrovers diskutiert [100] [43]. Sie besagt, dass diese Frakturart neben einer hauptsächlich vertikal wirkenden Stauchung, beim Fall auf die ausgestreckte Hand, auch eine Rotationskomponente beinhalte. Auf diese reagiere der Unterarm entweder durch Supination oder Pronation und zeige dementsprechend unterschiedliche Richtungen der Achsabweichung. Demzufolge sollte auch die Reposition durch Anwenden einer der Rotationsrichtung entgegengesetzten Drehung erfolgen und in dieser immobilisiert werden [99]. Mögliche Konsolidationsstörungen der konvexen Seite und damit die Gefahr einer Refraktur [101] veranlassen manche Chirurgen dazu, die Fehlstellung zu belassen, um eine möglichst gute periostale Abstützung zu gewährleisten [69] [30]. Bei stärkerer Dislokation und entsprechend älteren Kindern wird dagegen zum Teil die Überführung in eine komplette Fraktur gefordert [31] [26] [48]. Auch eine anschließende osteosynthetische Fixierung wird kontrovers diskutiert [69] [28]. Das unversehrte Periost auf der konkaven Seite fungiert im

Grunde als eine Art elastische Federkraft und kann zu einer sekundären Achsabweichung führen, sofern der angelegte Gips locker ist oder keine 3-Punkt-Fixation des Gipses angestrebt wurde [22]. Die vorhandene Fehlstellung wird also durch das Periost der konkaven Seite elastisch fixiert und entsprechend schnell bildet sich an dieser Stelle ein Frakturkallus, während eine nur sehr langsame Konsolidierung der somit klaffenden Gegenseite erfolgt. Eine dadurch hervorgerufene, partielle Pseudarthrose [11] oder gar Refraktur bis zu einem Jahr nach dem Unfallgeschehen [31] begründen die Problematik der Therapiewahl.

1.6.2 Frakturen mit Epiphysenfugenbeteiligung

Frakturen, die die Wachstumsfugen kreuzen, erweisen sich besonders dann als Risiko für das weitere Wachstum, sofern die Reservezone mit dem typisch hyalinem Knorpel verletzt oder die arterielle Blutzufuhr unterbrochen wird. Dieser auch als Stratum germinativum benannte Bereich schließt sich direkt an die Epiphyse an und fungiert als Ausgangspunkt der im Idealfall bei jüngeren Patienten Kallus-frei verlaufenden Ossifikation [26]. Epidemiologisch gesehen sind die oberen Extremitäten insgesamt viermal häufiger von Frakturen mit Beteiligung der Fugen betroffen als die unteren [30]. Malgaigne bezweifelte Mitte des 19. Jahrhunderts dennoch die grundsätzliche Existenz der Epiphysiolysen [49]. Der distale Radius gilt als der Hauptschauplatz dieses Traumas. Nahezu immer tritt dieses in Form einer Aitken-1-Epiphysiolyse mit metaphysärem Biegungskeil (Thurston-Holland-Zeichen [28]) auf und wird deshalb als *Fractura loco typico* der Kinder in Analogie zur Colles-Fraktur der Erwachsenen bezeichnet [24]. Intraartikuläre Frakturen im Sinne einer Aitken-2- oder Aitken-3-Fraktur sind mit einer Inzidenz unter 10% [102] eher selten [30], bedürfen aber zugleich einer guten Stabilisierung, da sie nur minderwertig überbrückt werden [32]. Aitken selbst räumt ihnen nur eine zweiprozentige Prävalenz aller epiphysealen Bruchformen neben den weitaus häufigeren „periphersten metaphysären Frakturen [30]“ vom Typ 0 bzw. 1 ein [18]. Dennoch vertritt er die Meinung, dass aufgrund der Nähe der distalen Epiphysen des Radius und der Tibia zu einem Gelenk mit limitierter lateraler Beweglichkeit diese auch anfälliger für intraartikuläre Frakturen seien [18]. Darüber hinaus gelte es, Gelenkstufen über 2 mm bei intraartikulären Verletzungen nicht zu belassen und diese mit gebotener Vorsicht osteosynthetisch zu versorgen [69] [12]. Typ-V-Verletzungen nach Salter und Harris betreffen alle Zonen der Wachstumsfuge und stellen deshalb das mitunter größte Risiko für Wachstumsstörungen dar. Sie jedoch so selten, dass diese Stauchungsfrakturen meist keine weitere Beachtung finden [26]. Prinzipiell bleibt festzuhalten, dass zweierlei Faktoren die so wichtige Reservezone schützen. Zum einen erscheint die distale

Speichenfuge sehr flach und Frakturen verlaufen deshalb gleichmäßiger durch die Zone der hypertrophierten Knorpelzellen als bei entsprechend welligeren Fugen wie die des distalen Oberschenkelknochens [26]. Zum Anderen gehen den distalen Speichenbrüchen meist Niedrig-Energie-Traumata voraus. Der einfache Sturz aus geringer Höhe als solches kann also die Verletzung auf Strukturen in unmittelbarer Nähe zur Bruchlinie begrenzen und damit die Reservezone schonen [26]. Selbst die arterielle Blutversorgung der distalen Epiphysenfuge der Speiche, die laut Dale und Harris [103] dem einer Typ-B-Epiphyse entspricht, leistet ihren Beitrag. Die Blutversorgung erfolgt nämlich über die Epiphyse und nicht wie beim proximalen Radius über das Perichondrium. Im Falle einer Fugenlösung bleibt also die Versorgung des Stratum germinativum weitgehend gesichert.

1.7 Therapieoptionen der dislozierten distalen Radiusfraktur

Die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie konnte bereits 1999 im Rahmen der AWMF erstmalig eine Leitlinie zur Therapie der distalen Radiusfraktur im Erwachsenenalter erstellen [104]. Auch in aktuellen Review-Artikeln bezüglich der momentan empfohlenen Therapiekonzepte bei Erwachsenen spiegelt sich eine große Klarheit und Einigkeit wider [105]. Anders verhält es sich bei der Findung der geeigneten Behandlungsmaßnahmen im Kindesalter, umso mehr als hierbei eine Fülle verschiedenster, bereits genannter Faktoren in die Entscheidung mit einbezogen werden muss. Allein die Zielsetzungen der unterschiedlichen Verfahren stimmen überein. So gilt es, der kindgerechten Behandlung, deren Akzeptanz auch seitens der Eltern, einem möglichst kurzen stationären Aufenthalt bei frühestmöglicher Mobilisation, minimalen Komplikationen und optimalen Langzeitergebnissen gerecht zu werden [106]. Ein bestmögliches funktionelles und kosmetisch zufriedenstellendes Resultat sollte selbstverständlich sein. Krettek gibt diesbezüglich auf profane Weise zu bedenken: „There are many ways to skin a cat“ [22].

1.7.1 Wahl der Therapie

Sofern es sich nicht um die seltenen intraartikulären distalen Unterarmfrakturen handelt, die aufgrund der Gefahr der Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose absolut anatomisch korrekt reponiert werden müssen [72], entscheidet allem voran sowohl das Ausmaß der Dislokation in beiden Röntgenebenen als auch das altersabhängige Korrekturpotential über die Therapiewahl [12]. Eine Einteilung der dislozierten distalen Unterarmbrüche nach Stabilitätskriterien bietet eine zusätzliche Orientierungshilfe. Als „weitgehend“ stabil werden

demnach Grünholzfrakturen und Frakturen nur eines Unterarmknochens angesehen [72]. Unter Beachtung der bereits genannten Kriterien werden diese wenn möglich konservativ durch Reposition und Gipsruhigstellung behandelt [107]. Instabile dislozierte Frakturen der distalen Speiche und Elle werden in diesem Bereich überwiegend operativ versorgt, aber auf jeden Fall entsprechend reponiert. Zu dieser Gruppe zählen nicht nur Frakturen mit Kontinuitätsunterbrechung beider Kortikales, also die vollständigen Frakturen, sondern auch Brüche beider Unterarmknochen, vor allem wenn die Bruchlinien auf gleicher Höhe liegen [69] [14] und komplett disloziert sind, sowie Epiphysiolysen [72]. Lieber und Schmittbecher [107] fassen diese Überlegungen in drei Grundregeln zusammen: die Analyse der Spontankorrekturmöglichkeiten nach Frakturlokalisation, Alter und Dislokation, die Analyse der Stabilitätsverhältnisse und die sorgfältige Methodenwahl auch orientiert an sozialen Belangen des Patienten. Sämtliche Therapieoptionen stützen sich dabei unabhängig von der genauen Wahl auf die sogenannten „drei Rs“ [38], bestehend aus Reposition, Retention (konservativ durch Gipsbehandlung oder operativ durch Osteosynthese) und Rehabilitation.

1.7.2 Anästhesieverfahren

Es steht außer Frage, dass eine angemessene Schmerztherapie bei der Frakturversorgung oberstes Gebot hat [1]. Dies ist nicht zuletzt eine der primären Aufgaben des Notarztes. Zusätzlich zur sofortigen Ruhigstellung und damit erreichten Schmerzlinderung mittels Schienung ist eine medikamentöse Analgosedierung in jedem Fall empfehlenswert [81]. Ziel ist jedoch nicht allein die reine Schmerzausschaltung, sondern auch die Beruhigung und Anxiolyse der kleinen Patienten. Eine dem Kindesalter in Dosierung, Applikation und Medikation angepasste peri- und postoperative Analgesie wirkt sich zudem positiv auf den postoperativen Verlauf aus. Es resultiert hieraus eine verbesserte Gewebedurchblutung, eine verminderte Stressreaktion bei optimierter Wundheilung als auch zeitgerechter Mobilisierung [108]. Die grundsätzliche, indikative Differenzierung zwischen den Möglichkeiten einer Vollnarkose im Sinne einer Inhalations- oder Injektionsnarkose und der heute bei Kindern obsoleten Lokalanästhesie im Sinne einer axillären Blockade des Plexus brachialis, einer direkten interfragmentären Anästhesie oder auch einer intravenösen Regionalanästhesie, dem sogenannten Bier-Block [11], ist neben der reinen Lachgassedierung viel diskutiert. Aktuelle Studien führen Vor- und Nachteile der jeweiligen Anästhesiearten auf, aber Schmerz bleibt als subjektives Gefühl schwer vergleichbar und messbar. Zwar verweisen sie auf die Lokalanästhesie als nahezu gleichwertige Alternative zur Vollnarkose [109] [110] [111], doch machen Noonan et al. [47] zugleich darauf aufmerksam, dass sich viele

Kinder und auch deren Eltern gerade bei dem Gedanken an eine Allgemeinanästhesie ohne jegliches Bewusstsein der Repositionsprozeder sehr wohl fühlen würden. Zamzam und Khoshhal [112] verbinden die Sedierung und heutzutage nicht mehr angewandte interfragmentäre Anästhesie sogar mit vermehrten sekundären Dislokationen. Zudem reiche eine Sedierung allein nicht aus, um eine ausreichende Schmerzbeseitigung und die für die Reposition notwendige Muskelrelaxierung zu erreichen [113]. Nie außer Acht gelassen werden dürfen die im Allgemeinen einer Narkose zugrunde liegenden potentiellen Risiken wie allergische Reaktionen, Arrhythmien sowie die bei Weitem am häufigsten auftretenden respiratorischen Komplikationen und das konsekutive Erbrechen [114].

1.7.3 Konservative Therapie mit oder ohne Reposition

Jede Manipulation, die eine Veränderung der Fragmentstellung einer Fraktur bedingt, muss pauschal als Reposition betrachtet werden, so Slongo [115]. Das Beherrschen dieser Technik - oder sogar Kunst [115] - und deren bestmögliche Ausführung sind entscheidend für den Erfolg der Knochenbruchbehandlung im Kindesalter.

Eine Reposition kann je nach Stellung der Fragmente geschlossen oder offen unter direkter Sicht durchgeführt werden. Bei der offenen Einstellung des Bruches kommt es allerdings zu einer Entleerung des Frakturhämatoms und damit zu veränderten Heilungsvoraussetzungen [115]. Beide Arten erfordern generell als durchaus schmerzhaftes Therapie eine Anästhesie [1].

Um einen eventuellen Therapiewechsel zur osteosynthetischen Versorgung bei nicht zu haltendem Ergebnis schnell vollziehen zu können, sollte die Reposition - falls möglich - nicht im Gipszimmer, sondern im entsprechend vorbereiteten Operationsraum erfolgen [30]. Repositionen des distalen Unterarmes direkt vor Ort des Unfallgeschehens sind hingegen nur in Ausnahmefällen wie Pulslosigkeit indiziert [81].

Das anatomisch korrekte Wiedereinrichten der Frakturenden erfolgt in der Regel durch Aushängen unter manuellem Zug nach distal. Die Verwendung eines Mädchenfängers, den sogenannten Fingerextensionshülsen, die zumeist mit Finger-Traps an Daumen, Zeigefinger und kleinem Finger befestigt werden und mit einem entsprechenden Gegengewicht am Oberarm ausgestattet sind, ermöglicht, auch stark verkürzte, ineinander geschobene Brüche zu lösen [43]. Dessen Einsatz bleibt der Vorliebe und Möglichkeiten des Behandlers überlassen. Nach der dorsalen Hyperextension des distalen Fragments, die einer Wiederholung des Unfallmechanismus entspricht, kann flektiert und die Fraktur somit wieder in eine adäquate Stellung überführt werden [115]. Sollte dies nicht gelingen, so kann mit Hilfe eines perkutan eingeführten Drahtes

das nicht zu reponierende Fragment in die korrekte Lage gehiebt werden [115]. Das Endergebnis wird umgehend unter Durchleuchtung auf Stabilität und Position überprüft. Lee et al. [116] konnten in einer Vergleichsstudie zum konventionellen Röntgen die Durchleuchtung als sichere, zeitlich effiziente und eine die Erfolgsrate der geschlossenen Repositionen verbessernde Methode darstellen.

Abschließend erfolgt die Retention dieser erzielten Stellung meist durch Anlage eines konventionellen Weißgipses, wobei auch modernere vorgefertigte und individuell anpassbare Schienen (Casts) aus Kunststoffmaterialien zunehmend Einzug in die Praxis der Frakturbehandlung finden [53]. Deren Vorzüge liegen klar auf Seiten ihrer Leichtigkeit, Wasserunempfindlichkeit und angenehmeren Tragweise. Primär ist jedenfalls von der Anlage eines zirkulären Gipses abzuraten, um der gerade in den ersten Tagen vorliegenden Schwellung genügend Raum zu geben [14]. Ein Aufspannen der zwischen den Unterarmknochen befindlichen Membrana interossea kann durch dorsalen und volaren Druck auf den Gipsverband mit den Daumenballen erzielt werden und somit dem sekundären Abrutschen entgegengewirkt werden [115]. Bei der zeitlich um 4 bis 7 Tage verzögerten Zirkulierung [30] muss der Gips zudem erneut auf seine Passgenauigkeit überprüft und entsprechend angepasst werden, da der Umfang des Armes mit nachlassender Schwellung kleiner wird. Kinder unter 8 bzw. 9 Jahren erhalten prinzipiell einen Oberarmgips, da sie aus den kurzen, nur den Unterarm fassenden Gipsen herausrutschen können [14].

Auch die verschiedensten Repositionstechniken wurden beschrieben und erörtert, so schlagen Eichinger et al. [113] eine ganz spezielle Methode, die sogenannte LEAF (Lower Extremity-aided Fracture Reduction) vor, deren Vorteil in der alleinigen Ausführbarkeit bei optimaler Kraftdosierung laut klinikinterner vierjähriger Evaluation an distalen metaphysären komplett dislozierten Radiusfrakturen zu liegen scheint. Der Oberschenkel des Behandlers wird dabei auf den 90° abgewinkelten Arm proximal des Ellbogens positioniert und ersetzt somit eine zusätzliche Assistenz. Im biomechanischen Vergleich der so aufgebrachten axialen Kraft konnten höhere Werte als bei der zweihändigen Zug-Gegenzugmethode oder mit Hilfe der Fingerextensionshüllen erreicht werden. Bei metaphysären Grünholzfrakturen empfiehlt Slongo [115] die indirekte Reposition über ein Hypomochlion, bei der sich der Arm auf einer Stoffrolle oder Ähnlichem befindet und darüber gefühlvoll begradigt werden kann. Für Epiphysiolyse rät Wilkins mit Rücksicht auf die oft in den Frakturspalt eingeschlagenen Gefäße [115] zu einer sehr sanften Methode, bei der nach genügend langem Aushängen im Mädchenfänger und einem entgegen der Dislokationsrichtung direkt auf die Fuge applizierten Druck die besten Ergebnisse erzielt werden [115].

Unabhängig ob nun eine Entscheidung für oder gegen ein Repositionsmanöver getroffen wird, so entbindet dies nie von einer perfekten Gipstechnik. Diese zeichnet sich vor allem durch eine gute Drei-Punkt-Technik [117] aus und kann anhand multipler Gipsindices überprüft werden [118]. Die Aufklärung des Patienten bzw. dessen Eltern über den Umgang mit dem Gips und eine Wiedervorstellung bei zunehmenden Schmerzen, Kribbeln oder Taubheitsgefühl, Kälte sowie Blaufärbung der Finger als Hinweis auf eine mangelnde Durchblutung ist obligat. Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Methoden macht sich die Technik der Gipskeilung am 8. Tag als Ersatz für die primäre Reposition das Gesetz der Hebelwirkung zu Nutzen. Je peripherer der Bruch gelegen ist, desto proximaler muss hier die Keilung an der konkavsten Stelle der Achsabweichung vorgenommen werden. Hierbei besteht allerdings die Gefahr, durch zu großen Druck auf die Gegenseite einen Druckkulus zu erzeugen, der sodann eine anschließende Gipsfensterung mit Wiederverschluss fordert [30].



Abbildung 14: 13 Jahre männlich, obere Reihe: Unfallbilder nach Sturz beim Spielen; mittlere Reihe: Zustand nach geschlossener Reposition und Oberarmgips in Scheedestellung([31]); untere Reihe: Zustand nach 4 Wochen mit Kallusbildung

1.7.4 Operative Therapie mittels Kirschner-Drahtosteosynthesen

Sollte durch Reposition allein nicht die gewünschte Stabilität der distalen Unterarmfraktur erreicht werden, so kommt als Methode der Wahl im Wachstumsalter die Osteosynthese mittels Kirschner-Drähten zur Anwendung. Entwickelt wurde dieses Verfahren bereits in den 1920ern von Martin Kirschner, der unter anderem als Begründer des modernen Rettungssystems angesehen wird [119]. Dessen Draht bestand aus ungeglühtem Klavierseitenstahl, variierbar in einem Durchmesser von 0,7 bis 1,5 mm [120]. Heutzutage findet biegsames Edelstahl oder Reintitan Anwendung. Meist genügt es, nur den tragenden Unterarmknochen, also die Speiche, zu versorgen, selbst wenn Radius und Ulna gleichermaßen betroffen sind [69]. Nach Einrichten der Fraktur wird unter Durchleuchtungskontrolle oder Palpation der Processus styloideus radii als distaler Eintrittspunkt aufgesucht [72]. Durch eine klein gehaltene, oft empfohlene Stichinzision kann anschließend bis zum Knochen präpariert werden und zugleich einer Einziehung der Haut entgegengewirkt werden [121]. Eine weitere Möglichkeit stellt das perkutane Verfahren dar.

Aitken [18] betont die Bedeutung einer möglichst steilen und zentralen Einbringung des Materials bei unvermeidlicher Überkreuzung der Wachstumsfuge im Falle einer Epiphysiolyse. Mehrmalige Versuche der Durchbohrung sollten ebenfalls tunlichst unterlassen werden, um keine weitere Schädigung dieses sensiblen Bereichs und damit entsprechend negative Folgen für das weitere Wachstum hervorzurufen [121] [69]. Läsionen im Randbereich der Physis gefährden außerdem die Durchblutung.

Bei metaphysären Radiusfrakturen gilt es ebenfalls, nach steiler Einbringung auch die Gegenkortikalis ausreichend zu fassen [33] bzw. zu perforieren [122]. Die Verwendung eines zweiten Drahtes wird zur allgemeinen Verbesserung der Rotationstabilität empfohlen. Darüber hinaus darf aus demselben Grund die Kirschner-Drahtspickung nicht auf Höhe des Frakturspalt kreuzen [72]. Ob nun der zweite Draht parallel oder gekreuzt eingebracht wird, liegt im Ermessen des Behandlers. Eine gekreuzte Spickung wird aber im Zweifelsfall bevorzugt [30]. Kapandjis Osteosynthesetechnik mit Einsatz von zwei oder mehreren Kirschner-Drähten vereint Reposition und Retention. Dabei wird der erste Draht von radial direkt in den Frakturspalt eingeführt, anschließend um 45° nach distal umgelegt und in der Gegenkortikalis fixiert. Das distale Fragment hebt sich dabei in die korrekte Position. Analog wird der zweite Draht dorsal eingeschoben und umgelegt [69].

Abschließend erfolgt eine radiologische dynamische Stellungskontrolle in beiden Ebenen sowie das Umbiegen und Kürzen der Drähte bei weiterer Versenkung in das subkutan gelegene Gewebe. Die Hautnaht wird in der Regel mit resorbierbaren Fäden angefertigt. Ein Herausstellenlassen der

Enden wird zum Teil mit der Begründung einer leichteren und bei Kindern stets notwendigen Entfernung begründet [122]. Ob diese Art der Versorgung ohne Narkose erfolgen kann, ist fraglich [121]. Beide Methoden bedürfen jedenfalls einer guten Polsterung des Gipses an den jeweiligen Eintrittsstellen [30]. Eine zusätzliche Gipsschienung oder auch andersartige Ruhigstellung ist bei den biegsamen und keine perfekte Verankerung erzielenden, lagerungsstabilen Drähten obligat [66]. Sie sind also keineswegs als übungsstabil anzusehen wie beispielsweise die im diaphysären Schaftbereich des Unterarms standardmäßig, am metadiaphysären Bereich aber nur mit relativer Indikation verwendete Methode der elastischen stabilen intramedullären Nagelung (ESIN), auch Nancy-Nagelung genannt [123].

Während die Vorteile der Spickdrahtosteosynthese klar auf Seiten der minimalen Traumatisierung bei geringem Aufwand und geringen Kosten liegen, so sind ihr durch die limitierte Retentionssicherheit, die eine weiterführende Gipsbehandlung bedingt, und der Notwendigkeit eines Zweiteingriffes zur Metallentfernung Grenzen gesetzt. Eine ausreichend stabile Frakturkonsolidierung vier bis sechs Wochen später bestimmt den Zeitpunkt der erneuten Intervention [72]. Komplikationen, wie ein Wandern oder Bruch der Drähte werden selten berichtet [124]. Auftretende Hautreizungen bedingen gleichwohl eine vorzeitige Metallentfernung, wobei kein quantitativer Unterschied in der Verwendung überstehender oder versenkter Drähte nachgewiesen werden konnte [121]. Irritationen des Ramus superficialis des Nervus radialis können wiederum in Zusammenhang mit der Entfernung auftreten. Nicht zuletzt ist deshalb eine genaue Lokalisation der Drahtenden unabdingbar [121].

Zudem gelten gerade Brüche am metadiaphysären Übergang als besondere Herausforderung [69]. Die geforderte steile Einbringung und das gleichzeitige Fassen der Gegenkortikalis kann hier nur schwer realisiert werden [121]. Die alternative Versorgung mittels einer meist volar eingebrachten Plattenosteosynthese bleibt im Wachstumsalter als Ausnahmeindikation anzusehen [14]. Sie fordert nicht nur die möglichst frühe Wiederentfernung, sondern wird auch mit Pseudarthrosen in Verbindung gebracht [31]. Offene und damit eventuell bakteriell kontaminierte distale Radiusfrakturen mit starker Weichteilschädigung können mit einem gelenk-überbrückenden Fixateur externe versorgt werden [48].



Abbildung 15: 15 Jahre männlich, obere Reihe: Unfallbilder nach Hockeyspiel inklusive Epiphysiolyse der Ulna; mittlere Reihe: Zustand nach geschlossener Reposition und Kirschner-Draht-Versorgung der Speiche (intraoperative Durchleuchtungsbilder); untere Reihe: Zustand nach Metallentfernung 7. Woche nach Unfall

1.8 Häufige allgemeine Komplikationen

Komplikationen treten entweder als unerwünschte Folge der jeweiligen Therapie oder auch als ein mit einzukalkulierendes Risiko auf, das der speziellen Frakturart eigen ist. Man unterscheidet also zwischen vermeidbaren, zum Teil technisch bedingten und unvermeidbaren negativen Effekten [125]. Entscheidend ist in jedem Fall deren Kenntnis, um angemessen reagieren zu können. Primär sollen hier die allgemeinen, therapieunabhängigen und häufig anzutreffenden Schwierigkeiten dargestellt werden. Von Laer [125] spricht in diesem Zusammenhang von Umständen, die den Heilungsverlauf wesentlich beeinträchtigen.

1.8.1 Die sekundäre Dislokation/Reangulation

Als gefürchtetste und gleichzeitig häufigste Komplikation tritt die sekundäre Dislokation und Reangulation auf [126]. Die relative Häufigkeit aller primär eingerichteten Frakturen ohne zusätzliche Drahtfixierung mit frühzeitig nachfolgender unerwünschter Dislokation wird, laut aktuellen Studien, zwischen 10% bis 91% angegeben [2]. Generell zeigt nahezu $\frac{1}{3}$ aller Fälle diese, vor allem in den ersten zwei Wochen auftretende [127] Problematik [43] [112]. Die Ursachen für das erneute Abgleiten aus einer zuvor anatomisch korrekt reponierten Position sind vielfältig. Zumeist wird eine inadäquate Gipstechnik verantwortlich gemacht [127] [118]. Als signifikant zu werten sei diesbezüglich aber nur der 3-Punkt-Index [128], so Marcheix et al. [129]. Dem stimmen auch Mazzini und Martin [126] zu, unterteilen aber zugleich alle möglichen Faktoren ähnlich wie Proctor et al. [130] in fraktur-, operateur- oder patientenbezogene Auslöser.

Auch wiederholte Repositionsversuche [39] [42] werden neben der schlechten Qualität der ersten Reposition [131] [13] als möglicher Grund kontrovers diskutiert. Die Ausführung der ersten Reposition und Gipsimmobilisation erscheint insgesamt weitaus wichtiger als die Länge des Gipses [2]. Zamzam und Khoshhal [112] sehen hingegen keinerlei Zusammenhang zwischen vermehrten sekundären Dislokationen und perfekt ausgeführten ersten Repositionen. Ob nun ein über den Ellbogen reichender Gips oder ein kurzer Unterarmgips angelegt wird, ist zweitrangig. Beide Versorgungsmethoden zeigten in prospektiven, randomisierten klinischen Vergleichsstudien gleichwertige Ergebnisse im Halten der zuvor erreichten Repositionsstellung [131] [132]. Gleichzeitig weisen Webb et al. aber auch nicht von der Hand, dass Unterarmgipse Kinder in ihrer Aktivität weniger behindern und somit sogar weniger schulische Fehltage zu verzeichnen seien [132]. Frakturen beider distaler Unterarmknochen [131] bei kompletter Dislokation [112] [130], dorsaler Angulation [133] und zunehmend schrägem Frakturverlauf [128] sind in Kombination als

Hochrisiko einzuordnen. Lediglich Gibbons et al. [134] sehen in isolierten distalen Radiusfrakturen eine höhere Dislokationsgefahr als in Frakturen beider Knochen.

Um Frakturheilungen in Fehlstellung zu vermeiden, ist es also im Rahmen der Röntgendosisreduktion unverzichtbar, ein Abgleiten durch radiologische Kontrollen frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu intervenieren [2]. Inwieweit diese Problematik dauerhafte motorische Einschränkungen oder besser funktionelle und kosmetische Einbußen mit sich bringt, hängt natürlich vom noch zu erwartenden Korrekturpotential des Patienten ab.

1.8.2 Wachstumsstörungen

Stimulierende Wachstumsstörungen als Folge des frakturbedingten, vorübergehenden Mehrwachstums der Speiche sind therapieunabhängig nie völlig auszuschließen [66] und führen zu einer geringgradigen Längendifferenz zwischen Radius und Ulna. Als physiologischer Auslöser gilt die durch den Bruch verursachte Mehrdurchblutung [14] und die hierbei veränderte Einflussnahme humoraler Wachstumsfaktoren [29]. Bei Wachstumsabschluss kann diese Abweichung wiederum auf ein klinisch irrelevantes Maß reduziert bzw. ausgeglichen werden, so dass ihr meist innerhalb bestimmter Grenzen wenig Beachtung geschenkt wird [30]. Die Längenskorrektur an sich findet jedoch nur gegenüber dem paarig angelegtem Unterarmknochen des gleichen Arms statt, so dass die Gegenseite hiervon völlig unberührt lediglich ihrem normalem Wachstum nachgeht [135]. Längendifferenzen zwischen beiden Unterarmen sind also durchaus denkbar, fallen aber erst ab mehr als 1 cm optisch auf [136] und sind aufgrund der nicht vorhandenen Belastung der oberen Extremitäten - im Vergleich zu etwaigen Beinlängendifferenzen - funktionell weitgehend unbedeutend. Während die Überstimulation nur ein vorübergehendes Phänomen bis zur vollständigen Frakturheilung darstellt, treten hemmende Wachstumsstörungen nach distalen radialen Frakturen zeitlich unbegrenzt und ohne Eingreifen unwiderruflich auf [66], wenn auch nur mit circa 4% insgesamt selten vorkommend [136]. Ein vorzeitiger totaler oder partieller Epiphysenfugenverschluss der distalen Radius- oder Ulnafuge ist primär denkbar bei Fugenverletzungen, kommt aber in seltenen Fällen auch bei metaphysären Stauchungsfrakturen, unabhängig ob disloziert oder nicht, zum Tragen [137]. Das Risiko für posttraumatische Wachstumsstörungen wird im Zusammenhang mit distalen ulnaren Fugenfrakturen sogar mit 50% weitaus höher angegeben [136] als bei entsprechend radialen Verletzungen. Die genaue Ursache der Störung ist nicht bekannt. Von Laer [30] vermutet aber einen kausalen Zusammenhang zu traumatisch bedingten Gefäßläsionen des epiphysären Systems. Je jünger demnach das Kind zum Zeitpunkt des Traumas ist und damit noch

entsprechend viel Wachstum vor sich hat, desto ungünstiger [29]. Altersabhängig kommt es somit zu einer zunehmenden Verkürzung des betroffenen Unterarms [30]. Prognostische Hinweise allein aus der Art der Fugenverletzung, der Dislokation, der Art der Achsabweichung oder der Anzahl der wiederholten Repositionen [18] zu ziehen, sind nicht möglich, selbst wenn diese aufgezählten Faktoren oft als verdächtig für Wachstumsstopps und das Fehlwachstum bei entsprechend partiellem Verschluss befunden werden [2]. Das klinische Bild eines langdauernden Wachstumsstopps der Speiche besteht neben ulnaren Handgelenksschmerzen aufgrund des verhältnismäßig überschießenden Wachstums der Elle aus einer deutlichen Ulna-Positiv-Variante, die auch in radiologischen Kontrollen erkannt werden kann [2]. Bei ausgeprägten Bewegungseinschränkungen, Schmerzen oder störender Deformitäten kann eine Osteotomie im Sinne einer ausgleichenden Kürzung der Ulna oder eine Epiphyseodese zur Überbrückung bzw. Zerstörung der weiter wachsenden Fuge vorgenommen werden. Korrigierende Osteotomien des distalen Radius selbst sind eher selten [2].

1.8.3 Weitere Komplikationen

Als weitere, allgemeine Komplikationen können vorrangig sowohl gipsbezogene als auch operationsbedingte negative Entwicklungen aufgeführt werden. Beide sind bei entsprechend sorgfältigem Vorgehen grundsätzlich vermeidbar. Gerade im Rahmen der Behandlung offener Frakturen sollte eine prophylaktische Antibiose in Erwägung gezogen werden, um eventuell auftretenden Infektionen frühzeitig entgegenzuwirken [82]. Die Infektion ist neben der Entstehung von Narben, postoperativen Schmerzen, Nervenläsionen, Materialversagen und Fugenverletzungen als Risiko des chirurgischen Eingriffs zu nennen. Eine entsprechende Aufklärung darüber ist verpflichtend. Durch unsachgemäße Polsterung des Gipses oder der Kunststoffschiene hervorgerufene Drucknekrosen bis hin zur Volkmannschen Kontraktur können durch regelmäßige Gipskontrollen und eine perfekte Gipstechnik verhindert werden. Das Auftreten des Kompartmentsyndroms, bei dem ein erhöhter Gewebedruck zu einer verminderten Durchblutung oder sogar neuromuskulären Störungen führt, wird insgesamt selten bei Kindern beobachtet [138]. Die sogenannten fünf Ps, bestehend aus einem unverhältnismäßig großen Schmerz (pain), der Blässe der Extremität (pallor), Pulslosigkeit (pulselessness), Parästhesie (paraesthesias) und der Paralyse (paralysis), gelten als klassische Hinweise [82]. Da diese Symptomatik gerade bei Kindern oft nicht sehr deutlich ist, empfehlen Bae et al. [139] einen erhöhten Bedarf an Analgesie als mögliches Anzeichen zu werten. Die Messung des Logendruckes

schaft letzte Klarheit [140]. Eine frühzeitige Dekompression durch Faszienpaltung verspricht eine meist folgenlose Ausheilung, so Royle [138].

Immer wieder auftretende Heilungsverzögerungen im Sinne einer Kallusbildung oder knöchernen Konsolidation, die längere Zeit als die normale altersentsprechende Frakturheilung in Anspruch nehmen, sind leicht zu erklären. Muskuläre Interponate oder auch in den Frakturspalt eingeschlagenes Periost, das durch die überwiegend geschlossene Vorgehensweise bei Kindern meist nicht entdeckt oder behoben werden kann, gelten als ursächlich. Auch die offene Reposition kann durch eventuelle Deperiostierung zu einer verzögerten Ausheilung und Überbrückung des Bruches führen [32].

2 Material und Methoden

Ziel dieser retrospektiv angelegten Studie ist die Gegenüberstellung der aktuell vorherrschenden Therapieregimes in der Behandlung der dislozierten distalen Radiusfraktur beim noch im Wachstum befindlichen Kind bzw. Jugendlichen. Um auf Langzeitergebnisse zurückgreifen zu können und auch den Aspekt der subjektiven Empfindung über Therapieerfolg oder Scheitern nachvollziehen zu können, wurde zusätzlich ein Fragebogen entwickelt. Als Basis entschied man sich für den allgemein anerkannten DASH-Score, der jedoch bislang nur auf das Erwachsenenalter abgestimmt ist. Entsprechende Modifikationen machten den Einsatz dieses Outcome-Instruments auch bei Kindern möglich.

2.1 Einschlusskriterien der Studie und Definition der Versorgungsarten

Sämtliche Patienten, die sich im Zeitraum vom 20.07.2005 bis zum 03.11.2011 im Dr. von Haunerschen Kinderspital vorstellten, wurden geprüft. Eingang fanden Kinder im Alter von 0 bis 18 Jahren, deren Wachstumsfugen radiologisch nachgewiesen noch komplett offen waren. Die Voraussetzung eines Bruches der distal gelegenen Speiche musste in jedem Fall erfüllt sein. Auch sogenannte komplette Unterarmfrakturen mit jeglicher Art der Beteiligung der Ulna wurden involviert, sofern die primäre Prämisse der distalen Radiusfraktur eingehalten wurde. Das Vorliegen einer Dislokation als Achsenknick, seitliche Fragmentverschiebung oder Verkürzung durch Eintauchung bzw. Längsverschiebung bildete die zweite essentielle Grundlage. So wurden sämtliche Kombinationen der „Dislocatio“ erfasst. Einschränkungen bezüglich eines primären Mindestausmaßes an Dislokation wurden nicht getroffen. Die Bezeichnung distal richtete sich

nach der Definition der metaphysären Region [22], wobei Frakturen bis zu dieser Grenze mit inbegriffen wurden. Entgegen anderer, weitgehend eingegrenzter Studiendesigns blieben auch die extraartikulären Epiphysiolysen, definiert nach der Aitken-Klassifizierung, nicht außen vor. Intraartikuläre Brüche, also Aitken-2 und- 3, wurden aufgrund der klaren therapeutischen Meinung einer osteosynthetischen Versorgung ausgeschlossen.

Weitere Ausschlusskriterien stellten die Wulstfraktur, die per se nicht disloziert, die vor allem im mittleren Schaftbereich zu findende Biegungsfraktur, sowie Stress- und pathologische Frakturen dar. Zumal den beiden zuletzt genannten andere Mechanismen und damit Bruchformen zugrunde liegen. Übergangsfrakturen mit bereits zum Teil verschlossenen Fugen fanden keine Beachtung, um die Forderung einer offenen Fuge zu erfüllen und die Remodellierung in vollem Ausmaß beurteilen zu können. Als weiteren, zentralen Aspekt wurden Kinder mit Wachstumsstörungen ausgeschlossen, die anhand Park-Harris-Linien radiologisch identifiziert wurden, um neu auftretende Störungen ungeachtet dessen als rein frakturbedingte Folgen bewerten zu können. Knochenerkrankungen galten insgesamt als Ausschlusskriterium ebenso Syndrome oder hormonelle Störungen, die eine Pubertas praecox/tarda bedingen. Weitere Allgemeinerkrankungen ohne Einfluss auf die ossäre Thematik konnten anhand der Krankengeschichte mit weiteren einsehbaren Berichten erfasst werden.

Die unterschiedlichen Versorgungsarten beinhalteten neben der primären Therapie durch Reposition, Reposition mit Kirschnerdrahtosteosynthese und vereinzelt rein konservativer Gipsschienung auch wenige Fälle der ESIN. Etwaige Therapiewechsel und notwendige Zweiteingriffe wurden in gleicher Weise chronologisch erfasst. Sofern sowohl vollständige Daten im Sinne von Unfall- und Erstversorgungsbilder als auch Überweisungsberichte bei primär anderenorts behandelten Brüchen vorlagen, wurden auch diese unter dem Zusatz „alio loco“ erfasst.

2.2 Methodik der Datenerfassung

Zur Verfügung standen die über einen klinikinternen Zugang digital abrufbaren OP-Berichte, Entlassungsbriefe bzw. Überweisungsschreiben. Röntgenologische Auswertungen konnten separat eingesehen werden und wurden gänzlich von erfahrenen Kinderradiologen des Dr. von Haunerschen Kinderspitals verfasst. Darüber hinaus wurden nicht orthogonale Aufnahmen mit entsprechender Vorsicht bewertet und im Zweifelsfall der gesamte Fall ausgeschlossen. Einteilungen gemäß der Frakturhöhe orientierten sich in den bereits vorliegenden radiologischen Analysen an der AO-Definition der Metaphyse als Quadrat über die Fugen beider

Unterarmknochen. Dies konnte zusätzlich anhand der Röntgenaufnahmen, die stets in zwei Ebenen (a.p. und lateral) angefertigt wurden, verifiziert werden. Im klinikintern angewandten radiologischen EDV-Programm, mit Hilfe dessen Röntgenbilder und deren Befunde aufgerufen werden können, erfolgte eine Erstauswahl der in Frage kommenden Frakturen anhand bereits genannter Kriterien. Dort sind sämtliche angefertigte Röntgenbilder jedes Patienten chronologisch sortiert und unter Angabe der Frakturseite gespeichert. Unfallaufnahmen, intraoperative Durchleuchtungsaufnahmen und alle in der Folgezeit angefertigten Röntgenkontrollen bis zur Konsolidation bzw. Metallentfernung bzw. bei weiterhin bestehender Problematik sogar darüber hinaus wurden im Zusammenspiel mit den Befunden erfasst und nach bestimmten Kriterien wie Angulation und Translation untergliedert. Fehlende Berichte, Röntgenaufnahmen oder klinische Angaben konnten durch Akteneinsicht in den Archiven der Klinik ergänzt werden.

2.3 Untersuchte Kriterien

Eine umfassende Analyse aller vorliegenden Informationen beinhaltete als ersten Gesichtspunkt die epidemiologischen Angaben. So wurde das Alter zum Zeitpunkt des Unfallgeschehens erfasst und anschließend mit der Zielsetzung einer übersichtlicheren statistischen Auswertung in gängige Gruppen unterteilt. Diese setzten Grenzen von 0-5, 6-11 und 12-18 Jahren. Die Wahl richtete sich nach dem in unterschiedlicher Höhe zu erwartenden Korrekturpotenzial verbliebener Fehlstellungen. Neben dieser Variable fanden auch 18 verschiedene Unfallursachen, die Unfallmonate, das jeweilige Geschlecht sowie die Seitenangabe des verletzten distalen Unterarmes und der Unfallmechanismus Beachtung. Das Vorliegen einer Extensions- oder Flexionsfraktur konnte anhand der Unfallbeschreibung in den Arztbriefen und der Dislokationsrichtung bestimmt werden.

Ebenso gründlich wurde der vorliegende Frakturtyp im Sinne einer offenen bzw. geschlossenen Fraktur, dem Sonderfall des Grünholzbruches, des intraartikulären Traumas oder des Trümmerbruches eingeordnet. Der seltene Trümmerbruch definiert sich hierbei durch mehr als drei zusätzliche Fragmente. Komplette Unterarmbrüche zeigten neben der distalen Radiusfraktur zusätzlich einen Bruch der Ulna, dessen Höhe jedoch ohne Bedeutung war. Auch Abrisse des Processus styloideus ulnae sowie Grünholzfrakturen der Elle zählten als Untergruppen dazu. Dem entgegengesetzt enthalten isolierte radiale Traumata nur einen Bruch der Speiche, wobei Epiphysiolysen als Aitken-0 oder-1 ebenfalls hierunter verbucht wurden.

Radiologische Daten, die anhand der multiplen Röntgenaufnahmen (Unfall- und Kontrollaufnahmen) und Berichten genauestens nachvollzogen wurden, schlüsselten sich unter anderem in Translationsmessungen von einer Kortikalisbreite bis hin zu mehr als einer vollen Schaftbreite auf. Dislokationsrichtung und Grad, Eintauchungsausmaß und Fugenbeteiligung wurden wie auch Begleitverletzungen des gleichen Unter- und Oberarms erfasst. Lediglich die Grade der Achsabweichung und die Eintauchungstiefe, also damit eintretende Verkürzung in mm, wurden nachträglich separat gruppiert:

Tabelle 4: Einteilung Eintauchungstiefe und Grad der Achsabweichung

Eintauchungstiefe in mm	Eintauchungstiefe in mm (5 mm Einteilung)	Gradeinteilung in °
<2	≤5	≤10
≥2-≤5	>5-≤15	>10-≤15
>5-≤10	>15	>15-≤20
>10-≤15		>20-≤25
>15		>25-≤30
		>30

Die Angabe der „Endgrad(e)“ bzw. der Restangulation und Rest-Translation bezog sich auf die letzte Röntgenuntersuchung, die jedoch abhängig vom vorliegenden Fall einer unterschiedlich langen Beobachtungszeit unterlag. Um dieser Problemstellung ein entsprechendes Langzeitergebnis entgegen zu stellen, wurde ein Fragebogen entwickelt.

Intraoperative Durchleuchtungsbilder waren getrennt davon nach ihrem Repositionsergebnis zu beurteilen. So konnten anhand der Operationsberichte mehrmalige Repositionsversuche der Erstversorgung erkannt und auch nicht optimale Repositionen, ob nun mit oder ohne anschließender osteosynthetischer Versorgung, identifiziert werden. Die Variable des „minimaler Versatz wird (intraoperativ) akzeptiert“ ist gekennzeichnet durch eine Translation von mehr als einer Kortikalisbreite oder mehr als 5° belassener Achsfehlstellung. Alle Abweichungen darunter wurden als perfekte Ausführungsweise gewertet. Als Extremfall des sichtbar nicht anatomisch korrekt reponierbaren Bruches wurde zudem nach „½ Schaftbreite wird akzeptiert“ unterschieden.

In Bezug auf die Anzahl der Röntgenkontrollen ist wichtig zu erwähnen, dass hierzu weder die stets vorhandenen Unfallaufnahmen noch Durchleuchtungsbilder gerechnet wurden. Letztere erreichen in der Regel geringere Dosiswerte als konventionelle Aufnahmen und sind deshalb weniger geeignet zum Gesamtvergleich der insgesamt erfahrenen Strahlenexposition.

In Absprache zu Beginn der Arbeit wurden Frakturklassifikationen aufgrund der in der Einleitung dargestellten Begrenzungen nicht verwandt. Die therapeutische Entscheidungsfindung sollte möglichst unverfälscht bewertet werden.

Da klinikintern eine Allgemeinanästhesie wahlweise in Masken-, Larynxmasken- oder Intubationsnarkose bevorzugt wird, fand keinerlei Untersuchung dieser Thematik statt. Nur in einem Falle einer vorliegenden zystischen Fibrose wurde als Vorsichtsmaßnahme auf die Regionalanästhesie unter Sedierung zurückgegriffen.

Die Untersuchung der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität, kurz DMS genannt, fand im Rahmen der Vorstellung des Patienten, vor dem operativen Eingreifen und in regelmäßigen Abständen während des klinischen Aufenthaltes statt. Jede weitere Nachuntersuchung beinhaltete ebenfalls eine erneute Kontrolle der DMS. Etwaige Auffälligkeiten wurden vor und nach abgeschlossener Behandlung dokumentiert und durch den Fragebogen auf lange Sicht ergänzt. Weiterhin bestehende Schmerzen und Nervenläsionen wurden dabei gesondert vermerkt.

Der Erhebung der Art der primären Versorgung, deren Zeitpunkt in Bezug auf das Unfallgeschehen und die dabei verwendete Gipsart oder auch Schienung schloss sich die Ermittlung der gesamten stationären Aufenthaltsdauer in Tagen an. Dabei wurde jeder vergangene Tag als voller gewertet und auch die stationäre Verweildauer bei Metallentfernung oder Zweiteingriffen mit berücksichtigt. Schließlich ist es ein erklärtes Ziel, die Zeit im Krankenhaus für Kinder möglichst kurz zu gestalten. Die Auswahl der im Dr. von Haunerschen Kinderspital stets subkutan versenkten Kirschner-Drähte erfolgte in den gängigen Größen zwischen 1,4 bis 1,8 mm, wobei deren Einbringung zumeist gekreuzt vorgenommen wurde.

Im Zuge der Darlegung der zweiten Versorgung im Falle einer sekundären Dislokation wurde der Zeitpunkt des Abrutschens in Wochen bzw. der Zeitpunkt der Diagnostik dessen festgestellt. Kam es jedoch aufgrund eines wiederholten Sturzes oder Ähnlichem zu dieser Komplikation oder konnte ein defekter bzw. loser Gips verantwortlich gemacht werden, so musste dies speziell vermerkt werden, um eine Dislokation ohne zunächst erkennbaren Grund davon zu trennen.

Neben dem Wechsel der Gipsstellung nach primärer Anlage in Scheedestellung, die per definitionem eine Ulnarabduktion bei 30° bis 40° Beugung im Handgelenk darstellt, wurden etwaigen Komplikationen gerade am Ende der Behandlung besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Häufig anzutreffende Inaktivitätsosteopenien, bis dato verbliebene Achsabweichungen, Fugenläsionen, Ulnaverkürzungen und ulnare Wachstumsstopps stellen nur eine Auswahl dar. Metallreizungen, die eine frühzeitige Entfernung der Kirschner-Drähte bedingten, wurden mit erfasst.

Die Konsolidationsdauer in Wochen war bestimmt durch den Punkt, an dem ein periostaler Kallus der schätzbar gleichen Dichte wie der Kortex die Frakturbruchlinie sichtbar überbrückte. Die Voraussetzung musste in beiden Röntgenebenen anterior- posterior und lateral gegeben sein.

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung wurde mit dem aktuell verfügbaren Statistikprogramm IBM SPSS Statistics Version 20.0 aus dem Jahre 2011 der Firma SPSS Inc. durchgeführt. Neben reinen Häufigkeitsanalysen kam vor allem der zweidimensionale Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest nach Pearson zur Anwendung. Durch Kreuztabellen kann hiermit geprüft werden, ob zwei (oder mehrere) Variablen unabhängig voneinander verteilt vorliegen bzw. ob die Verteilung der Werte einer Variablen von der Werteverteilung anderer Variablen abhängt. Damit die Prüfgröße jedoch als annähernd χ^2 verteilt angesehen werden kann, muss die erwartete Häufigkeit eine gewisse Mindestgröße erfüllen. Als Voraussetzungen gelten bei diesem Test also, dass alle Zellen mindestens den Wert 1 annehmen und $\leq 20\%$ aller Werte kleiner als 5 sind. P-Werte $\leq 0,05$ wurden dabei als signifikant gewertet und durch die asymptotische Signifikanz wiedergegeben.

Der sogenannte probability-value (Wahrscheinlichkeitswert) selbst ist durch die jeweils festgelegte Stichprobe bestimmt. Er ist in der Lage anzudeuten, wie plausibel es ist, ein derartiges Stichprobenergebnis zu erhalten, sofern die Nullhypothese beachtet wird. Diese sagt aus, dass keine Abhängigkeit bestehen würde und soll, um das Gegenteil zu beweisen, verworfen werden. Je kleiner also der p-Wert, desto wahrscheinlicher ist ein möglicher Zusammenhang.

Auf die Verwendung des Medianwertes wurde zu Gunsten des Mittelwertes verzichtet, da kaum statistische Ausreißer und damit Verzerrungen im direkten Vergleich beider Werte festgestellt werden konnten.

2.5 Nachuntersuchung - der Fragebogen

Patienten wurden mit der Bitte angeschrieben einen Fragebogen (siehe Anhang) auszufüllen und diesen im beigelegten Rückumschlag zurück zu senden. Als Ausschlusskriterien galten unter Anderem psychische Erkrankungen wie die Borderline-Störung oder schwere Allgemeinerkrankungen.

Das Angebot einer klinischen Nachuntersuchung bei bestehender Problematik war selbstverständlich Teil des Schreibens.

Kinder, die sich innerhalb des untersuchten Zeitraumes dislozierte distale Radiusfrakturen beider Unterarme zuzogen, erhielten der Übersichtlichkeit halber nur einen Fragebogen. Um einen Bezug zum gemeinten, chronologisch älteren Unfall herstellen zu können, war auf jedem Bogen das Unfalldatum als Hilfestellung aufgedruckt.

Eine spätere Zuordnung der beantworteten Fragebögen wurde durch eine darauf vermerkte klinikinterne Fallnummer bewerkstelligt. Bei der Analyse der Rücklaufrate wurden außerdem unbekannt verzogene Patienten, deren Briefe mit entsprechendem Vermerk ungeöffnet zurückkamen, separat prozentual erfasst. Diese Tatsache überrascht in einer Großstadt wie München nicht, aus deren weitläufigem Einzugsbereich auch die überwiegende Mehrheit der Patienten stammt.

Prinzipiell musste zwischen einem Fragebogen für Kinder ab einem Alter von 8 Jahren und einem alternativen, durch Bilder veranschaulichten Bogen für die Kinder unter 8 Jahren unterschieden werden. Es liegt schließlich auf der Hand, dass Kinder erst ab einem gewissen Alter den täglichen Aufgaben in Haushalt und Schule, der eigenen Körperhygiene und bestimmten Sportarten selbstständig nachkommen können. Die differenzierte Angabe von Schmerzen, abgestuft in verschiedene Schweregrade, ist selbst durch die Eltern bei den Kindern der jüngeren Altersklasse nicht zweifelsfrei möglich. Der alternative Fragebogen sollte folglich anhand simpler Zeichnungen einfache Bewegungsabläufe darstellen, die zusätzlich durch eine kurze, verständliche Anweisung beschrieben wurden. Somit konnten auch Einschränkungen in der Funktionalität bei Patienten unter 8 Jahren mit Hilfe der Eltern eruiert werden. Sämtliche Zeichnungen wurden, nach Prüfung der auf der Website angegebenen Erlaubnis, von der Homepage der American Society for Surgery of the Hand (ASSH) [141] entnommen. Darüber hinaus sind diese Übungen ähnlich zu denen, die auf gängigen Aufklärungsbögen nach handchirurgischen Eingriffen postoperativ empfohlen werden [142]. Als Angabe etwaiger funktionaler Einschränkungen konnte zwischen drei vereinfachten Einschätzungen von leicht, mäßig bis stark gewählt werden.

Der eigentliche Fragebogen ist für die Altersgruppe der Kinder über 8 Jahre entwickelt worden, wobei sich die Altersangabe natürlich auf das Alter zum Zeitpunkt der Befragung und nicht des Unfalls bezieht. Im Wesentlichen entspricht dieser der deutschen Übersetzung Version 2.0 des sogenannten DASH-Scores [143] [19]: der Disability of Arm, Shoulder and Hand. Ursprünglich wurde er von der „American Academy of Orthopaedic Surgeons“, dem Council der „Musculoskeletal Speciality Societies“ und dem „Institute for Work and Health“ entwickelt [143]. Hiermit soll die generelle Funktion der oberen Extremität erfasst und bewertet werden. Untergliedert nach mehreren Tätigkeitsbereichen gibt 1 Punkt die beste Funktion und 5 Punkte die jeweils schlechteste wieder. Die Berechnung der Funktionsminderung im Gesamten ergibt sich

aus der Gesamtpunktzahl der Fragen und der Bandbreite des Fragebogens. Ein Punktwert von 0 entspricht demnach einer absolut ungehinderten Funktion ohne jegliche Einbußen, wohingegen ein Wert von maximal 100 eine totale Behinderung darstellt [19].

Die genaue Rechnung stellt sich wie folgt dar:

Alle Antwortpunkte der insgesamt im Original 30 Fragen werden summiert und bilden den sogenannten Rohwert. Maximal können somit 150 Punkte, minimal 30 erreicht werden. Der Streubereich ist mit 120 Punkten anzusetzen. Vom Rohwert wird folglich der niedrigst mögliche Rohwert subtrahiert und das Ergebnis durch die mögliche Spanne des Rohwertes/100 (=1,2) dividiert [143].

$$\text{DASH-Wert (0-100)} = \frac{\text{Rohwert} - 30}{1,2}$$

Werden Fragebögen nur lückenhaft ausgefüllt, so dürfen maximal 3 Fragen (<10%) unbeantwortet bleiben, um den Mittelwert aller anderen Fragen für den fehlenden Wert bzw. Werte verwenden zu dürfen. Werden demzufolge mehr als 3 Fragen nicht beantwortet, kann keine Berechnung erfolgen [144]. Auf die zusätzlich existierenden zwei optionalen Module (Sport- und Musikmodul bzw. Arbeits- und Berufsmodul) wurde bewusst verzichtet, da sie nicht im Zusammenhang mit den typischen Aktivitäten des täglichen Lebens stehen.

Die Wahl fiel auf dieses Outcome-Instrument, da es hier weniger wichtig ist, auf welche Art eine Funktion ausgeführt wird, sondern vielmehr die Fähigkeit, bestimmte Tätigkeiten auszuführen, im Vordergrund steht. Zudem wird er bereits in der Bewertung distaler Radiusfrakturen im Erwachsenenalter vermehrt herangezogen und empfohlen [145]. Changulani et al. [146] geben ihn sogar als besten Score bei Patienten mit multiplen Funktionsstörungen der oberen Extremität an. Scores nach Solgaard, Cooney und Bussey sowie Lindstrom oder Green und O'Brien [147] bedürfen mindestens einer zusätzlichen klinischen Untersuchung und sind bei einer so großen Zahl an retrospektiv evaluierten Patienten logistisch kaum machbar.

Modifikationen mussten trotz allem vorgenommen werden, zumal dieses Instrument nur für Erwachsene konzeptioniert wurde. Neben kleineren Änderungen, die kindgerechteren Aktivitäten entsprechen sollten, wurde die Frage nach der sexuellen Aktivität gänzlich gestrichen. Diese erscheint, da nicht alle Kinder bei der Befragung bis zu 6 Jahre nach ihrem Unfall schon junge Erwachsene sind, mehr als unpassend. Bei der Berechnung des Gesamtpunktwertes wurde wie oben beschrieben, der somit „fehlende“ Wert durch Bildung des Mittelwertes der übrigen Fragen ersetzt.

Die kleineren Modifikationen werden kurz dem Original gegenübergestellt:

Tabelle 5: Vergleich Original - Modifikationen DASH-Score

Original:	Modifikation:
Schwere Hausarbeit (z.B. Wände abwaschen, Boden putzen)	Schultafel abwischen od. Boden wischen
Garten- oder Hofarbeit	Gartenarbeit (Kehren etc.)
Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	Eine Einkaufstasche oder einen Koffer tragen
Einen schweren Gegenstand tragen (über 5 kg)	Einen schweren Gegenstand tragen
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	Eine Glühbirne über Kopf auswechseln (Schraubbewegung)
Freizeitaktivitäten... (z.B. Karten spielen, Stricken, usw.)	Freizeitaktivitäten... (z.B. Karten spielen, Memory aufdecken, usw.)
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	Freizeitaktivitäten, bei denen auf Arm oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Hämmern, Tennis, usw.)
Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen ...	Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (z.B. Roller, Radfahren)

Bei der stetigen Bezugnahme auf Schulter-, Arm- oder Handprobleme wurde des Weiteren die Schulter entsprechend gestrichen.

Bei allen zurückgesandten Briefen wurden außerdem drei Punkte des Scores genauer betrachtet: Das sind zum Einen die allgemeinen Schmerzen, das Steifheitsgefühl und zum Anderen die Angabe von Kribbeln im betroffenen Arm oder der Hand.

Beide Altersgruppen waren im Rahmen der Kontaktaufnahme gebeten worden, beide Umrisse der Hände bis zu 5 cm über das Handgelenk hinaus mit einem Stift möglichst genau zu umfahren. Somit konnte ein erster Vergleich der gesunden zur ehemals frakturierten Seite quasi via Ferndiagnose erfolgen. Vorausgesetzt dies gelang nach subjektivem Einschätzen relativ exakt, so wurde anhand einer Folie der gesunde Arm abgepaust und zum Vergleich über den betroffenen Arm gelegt. Dieser wurde vom Patienten oder dessen Eltern separat durch ein Kreuz markiert. Viele Eltern oder ältere Patienten sahen sich zudem veranlasst dabei kurze Kommentare über eventuelle Deformitäten oder Umfangsveränderungen anzugeben (siehe Abbildung 17), was auch die Auswertung durch die Folie zumeist anschaulich bestätigen konnte. Als erster Referenzpunkt wurde dabei der Übergang des Handgelenks zum distalen Unterarm genau oberhalb des dominanten Processus styloideus ulnae gewählt. Von dem aus konnte eine Linie im rechten Winkel zur Gegenseite gezogen werden. Der zweite markante Punkt entsprach dem am weitesten aufgezeichneten, distal gelegenen Unterarmabschnitt in jeweils gleicher Entfernung vom ersten

Messpunkt. Kinder mit beidseitiger Fraktur der Unterarme wurden von dieser Auswertung ausgeschlossen.

Weitere allgemeine Angaben bezogen sich auf die Frage, ob das Kind oder dessen Elternteil die Umfrage ausgefüllt habe, die Frage nach der Händigkeit, sofern bereits feststellbar, späteren Refrakturen und dem Gewicht des Kindes zum Zeitpunkt des Traumas. Da all diese Informationen rein subjektiv sind, sollte mit deren Bewertung vorsichtig umgegangen werden. Trotzdem wurde der Versuch unternommen, anhand der Gewichtsangabe und mit Hilfe anerkannter geschlechts- und altersspezifischer Normwertgrenzen [148] auf ein eventuell vorliegendes Übergewicht zu schließen. Dies wird - wie in der Einleitung aufgeführt - zum Teil für ein gehäuftes Auftreten des Frakturtyps verantwortlich gemacht [86]. Die Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis bezüglich der Ästhetik und Funktion im Allgemeinen rundete das Bild entsprechend ab und ließ zugleich eine Assoziation zur Höhe des DASH-Scores zu.

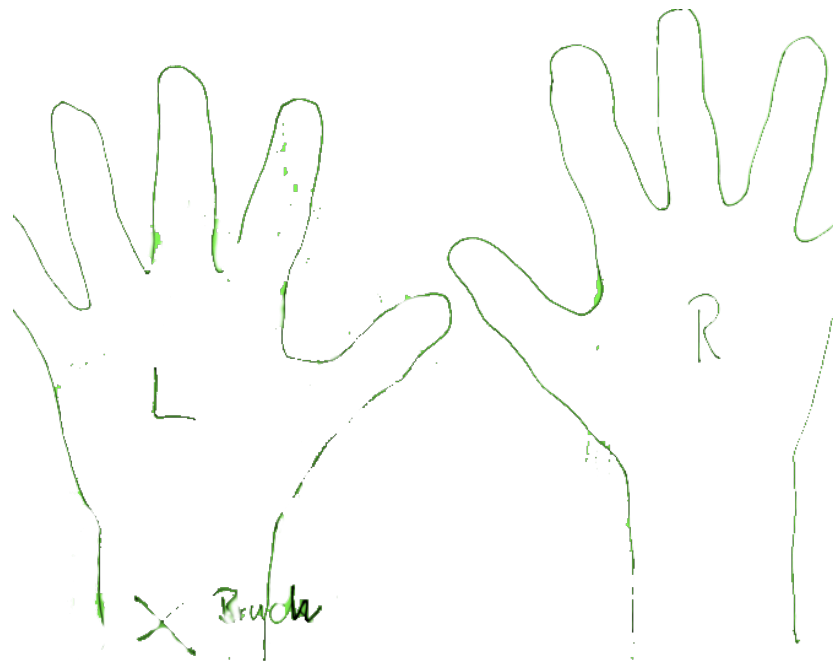


Abbildung 16: Umriss beider distalen Unterarme und Hände eines 8 jährigen Patienten mit Zustand nach meta-diaphysärem Bruch und damals unvollständiger geschlossener Reponierung sowie sekundärer Dislokation nach 4 Wochen; Nach 1,8 Jahre sind keinerlei funktionelle oder optische Einbußen erkennbar.



Abbildung 17: Umriss der distalen Unterarme und Hände einer 8 jährigen Patientin mit Zustand nach meta-diaphysärem Bruch bei rein konservativer Behandlung durch Gipsschienung und konsekutiver bleibender Achsverschiebung bei Konsolidation nach 4 Wochen; Nach 6 Monaten immer noch bestehende leichte bis mittlere Deformität.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Resultate der statistischen Auswertung schematisch geordnet dargestellt.

Neben der einleitend aufgeführten epidemiologischen Untersuchung, die das Patientenkollektiv eindeutig definiert und unter Anderem einen Ausblick auf die verschiedensten Unfallursachen gewährt, werden zudem die diversen Frakturarten der dislozierten distalen Speichenfraktur auf ein erhöhtes, sekundäres Dislokationsrisiko überprüft.

Der direkte Vergleich der primären alleinigen Reposition und der primären Kirschner-Draht-Osteosynthese anhand diverser Kriterien, wie Dauer des stationären Aufenthaltes, Anzahl der radiologischen Kontrollen, aufgetretenen sekundären Abgleitens und nicht zuletzt der jeweils erzielten Endresultate und subjektiven Bewertungen dessen, bietet ein in sich stimmiges Resultat. Aus diesem können plausible Rückschlüsse und Konsequenzen in der Therapiefindung der dislozierten distalen Radiusfraktur im Kindesalter gezogen werden.

3.1 Epidemiologische Statistik

3.1.1 Altersverteilung

Insgesamt konnten 393 dislozierte distale Speichenfrakturen an 383 Patienten retrospektiv vom 20.07.2005 bis zum 03.11.2011 beurteilt werden. Die Erklärung der Differenz von 10 Fällen liegt im Auftreten von sechs zeitgleichen Frakturen beider Unterarme sowie Brüchen des selben Unterarmes zu einem späteren Zeitpunkt beim jeweils gleichen Patienten begründet. Letztere traten viermal auf und wurden, da es sich weder um die exakt gleiche Frakturlokalisation handelte noch ein Zusammenhang zu der ersten Fraktur vorlag, nicht als Refrakturen, sondern als zusätzliche Traumata gewertet.

Die Altersverteilung der 393 Fälle ist in einem Histogramm mit der dabei weitgehend validen Gaußschen Normalverteilungskurve dargestellt (siehe Abbildung 18). Nur je 1 Patient war 17 bzw. 18 Jahre alt, wobei beide aufgrund der noch offenen Wachstumsfuge mit erfasst werden konnten.

Als Mittelwert ergibt sich ein Alter von 9,78 Jahren, das heißt laut Definition der einfachen Standardabweichung sind in diesem Intervall ($\mu \pm \sigma$) 68,3% aller Patienten zu finden. Die Standardabweichung als Maß für die Streuung der Altersangaben um den Mittelwert ist mit 3,5 Jahren beziffert.

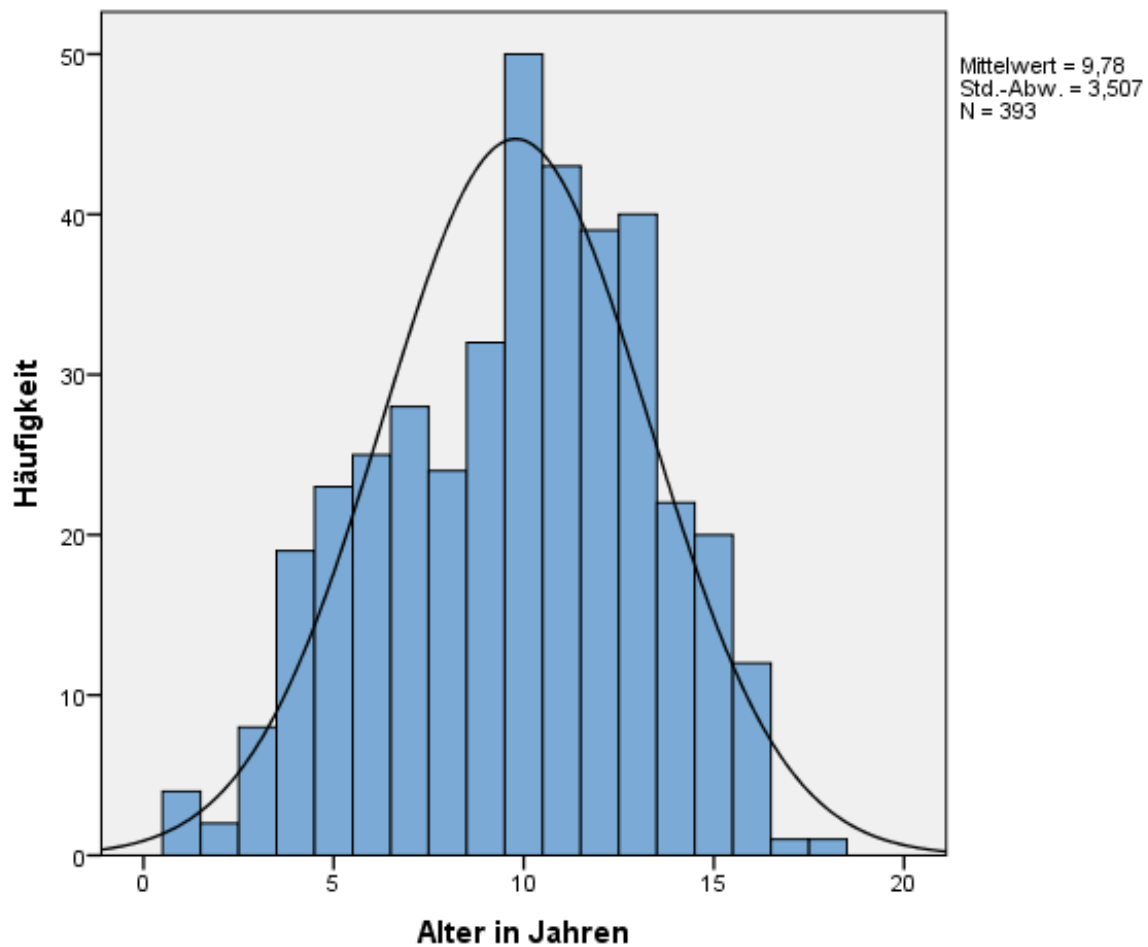


Abbildung 18: Histogramm der Altersverteilung

Somit wurden die meisten Frakturen in einem Alter von 6,3 bis 13,3 Jahren verzeichnet. Der Altersgipfel lag aber klar bei den knapp 10-Jährigen. Bei der Einteilung in drei Altersgruppen waren 56 Kinder 1-5-jährig, 202 6-11 Jahre alt und 135 folglich zwischen 12-18 Jahren einzuordnen.

3.1.2 Geschlechtsverteilung

72,5% des insgesamt 393 Frakturen erfassenden Patientenkollektivs waren männlich und demzufolge 27,5% weiblich (siehe Tabelle 6). Das entspricht einem Verhältnis von 2,6: 1. Jeder 2. bis 3. Patient war demnach männlich. Nicht zuletzt bestätigt das die These, dass trotz dem gestiegenem Anteil an verletzten Mädchen in den letzten Jahren und Jahrzehnten nach wie vor die Jungen im Vordergrund der Unfallstatistik stehen.

Tabelle 6: Geschlechtsverteilung

	Häufigkeit	Prozent
männlich	285	72,5
weiblich	108	27,5
Gesamt	393	100,0

3.1.3 Frakturlokalisierung

219 Kinder erlitten eine Fraktur des linken, 174 eine Fraktur des rechten distalen Unterarmes (siehe Abbildung 19 mit Angabe der entsprechenden Prozentwerte). Eine Korrelation zu den jeweiligen Geschlechtern erwies sich als wenig sinnvoll und wird deshalb nicht aufgeführt.

Auch mit Hilfe des Fragebogens konnte kein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen Frakturlokalisierung und der Angabe der Händigkeit hergestellt werden. Dies wird im Rahmen der Fragebogenauswertung (siehe Kapitel 3.12.1) genau untersucht. Bei einem Verhältnis von 5,6 linken zu 4,4 rechten Unterarmbrüchen kann trotz primärer Annahme einer überwiegenden Zahl an Rechtshändern keine eindeutige Tendenz zu Gunsten einer Frakturseite erkannt werden.

Das bedeutet, dass nicht wie vermutet vornehmlich Rechtshänder eine Fraktur des linken Unterarmes erlitten. Selbst der Umkehrschluss einer mehrheitlich rechtsseitig auftretenden Läsion bei Linkshändigkeit aufgrund einer reflexgesteuerten kontralateralen Abstützung beim Abfangen eines Sturzes ließ sich somit nicht belegen.

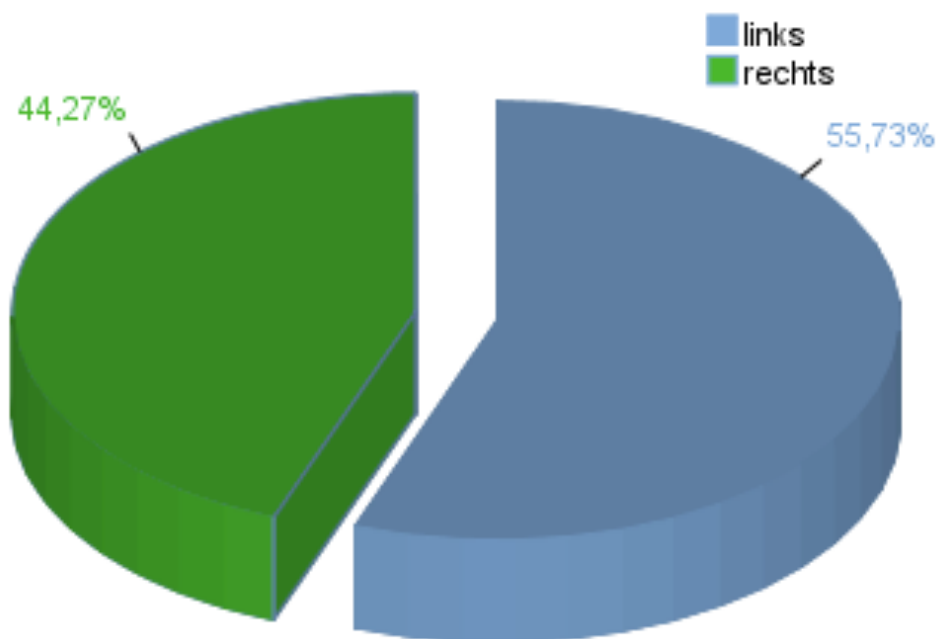


Abbildung 19:Frakturlokalisierung - der betroffene Arm

3.1.4 Unfallmonate

Die meisten Unfälle ereigneten sich im Juli (14,0%), gefolgt von April (12,7%) und Oktober (11,2%). Im Zeitraum zwischen eben diesen Sommermonaten, April bis Oktober, waren insgesamt 74,5% aller dislozierten distalen Radiusfrakturen zu finden (siehe Abbildung 20). Die glockenförmige Normalverteilungskurve findet bei den hier betrachteten 393 distalen radialen Brüchen keinerlei Anwendbarkeit. Eine mögliche Ursache kann in den mit dieser Zeit zusammenfallenden bayerischen Oster-, Pfingst-, und Sommerferien gesehen werden. Nicht zuletzt stehen in der warmen Jahreszeit vermehrt Outdoor- Aktivitäten wie beispielsweise Inlineskating und Radfahren im Fokus der sportlich aktiven Kinder.

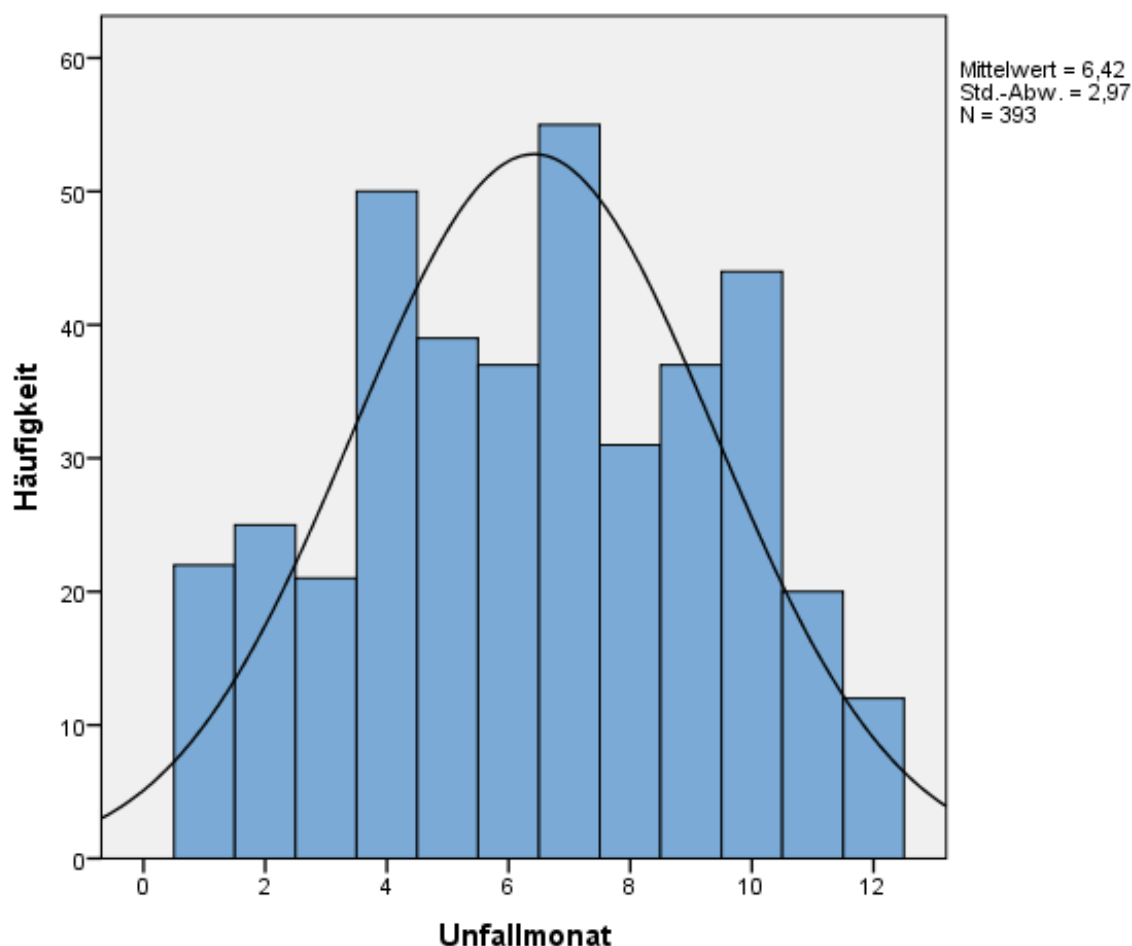


Abbildung 20: Die häufigsten Unfallmonate

3.1.5 Unfallursachen

Unterschieden wurde nach 18 verschiedenen Unfallursachen, wobei diese bei 93,6% (368) aller Fälle zweifelsfrei ermittelt werden konnten. Der Sturz aus dem Stand bzw. beim Stolpern stellte mit gut ein Drittel aller möglichen Gründe den Häufigsten dar und ist somit absolut konform mit den meisten epidemiologischen Studien (siehe Abbildung 21). Ebenfalls stellten sich mit einer Häufigkeit von 14,7% bzw. 10,3% viele kleine Patienten nach Traumata beim Fußballspiel oder dem Spiel im Allgemeinen bzw. im Rahmen eines Schulsportunfalles vor. Stürze aus großer Höhe wie beispielsweise vom Dach eines Heustadels etc. beginnend ab $\geq 1,5$ Meter bis hin zu 8 Metern im Extremfall wurden separat verzeichnet und erreichten immerhin einen bedenklich großen Anteil von 6,8%. Verkehrsunfälle gehörten mit 1,1% (4 Fälle) zur absoluten Minderheit. Klettergerüste, auch wenn deren prozentualer Anteil relativ gering war (4,1%), hatten, wie anhand der radiologischen Aufnahmen festgestellt werden konnte, meist schwerwiegende Brüche mit großer Dislokation zur Folge.

Weitere unterschiedene Unfallgründe waren mit Hobbies wie Fahrradfahren, Ski- und Snowboarden, Inlineskating, Schaukeln, Trampolinspringen oder Eislaufen in Zusammenhang zu bringen.

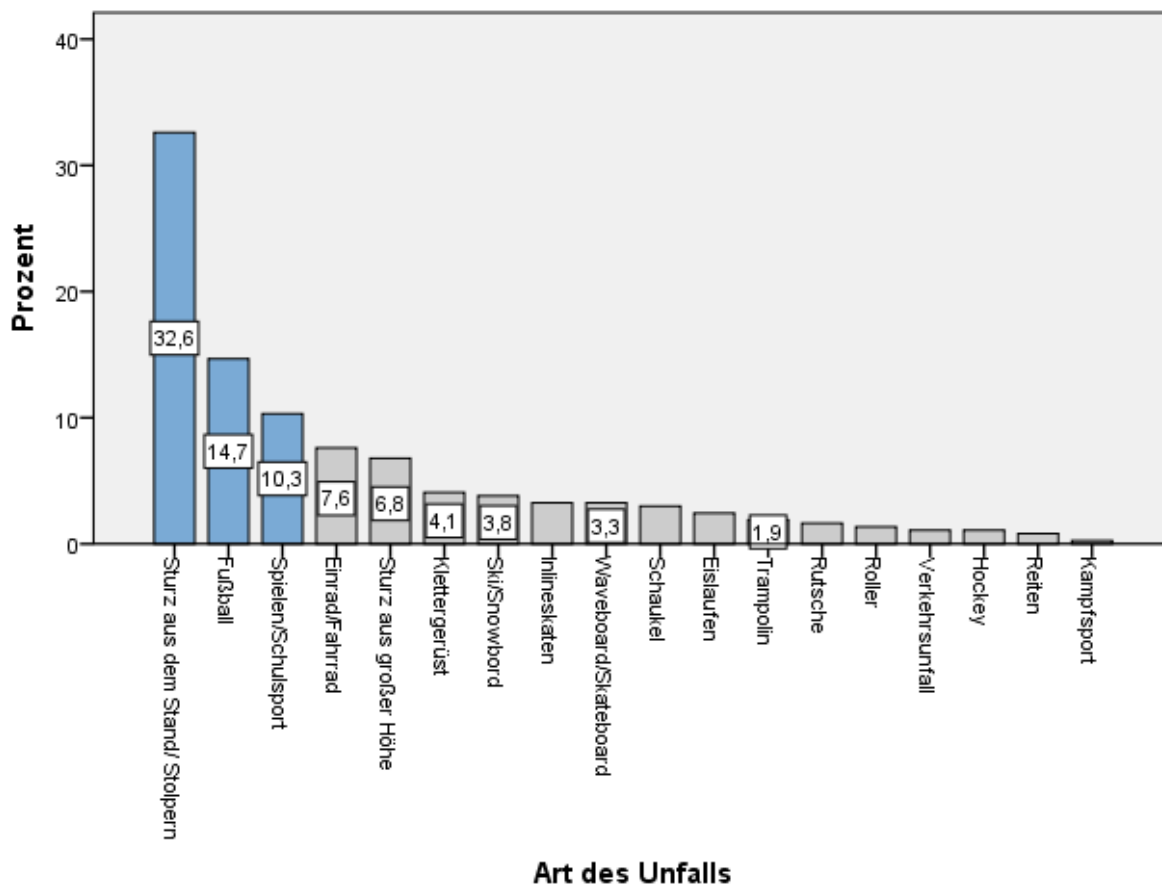


Abbildung 21: Häufigkeit der Unfallursachen

3.1.6 Unfallmechanismus

Bei der Betrachtung der zwei grundlegend verschiedenen Frakturmechanismen im Sinne eines Sturzes auf die ausgestreckte oder gebeugte Hand wird die Dominanz der Extensionsfraktur mit dorsaler und radialer Dislokation gegenüber einer reversen Colles-Fraktur bei radialer und volarer Fragmentabweichung ersichtlich (siehe Tabelle 7). Es ergibt sich ein klares Verhältnis von 7,2 zu 1,6 zu Gunsten des Extensionsmechanismus. In ganzen Zahlen summierten sich 288 Extensionsfrakturen gegenüber lediglich 63 flexionsbedingten Brüchen. 42 Patienten wurden aufgrund der fehlenden Möglichkeit der genauen Nachvollziehbarkeit des Unfallherganges von dieser Betrachtung ausgeschlossen, so dass 351 Patienten daraufhin untersucht werden konnten. Neben den absoluten Häufigkeiten in der zweiten Tabellenspalte und den Prozenten mit separat aufgeführten fehlenden Werten in der dritten Spalte wurden - genau aus dem Grund der nicht exakt rekonstruierbaren Angaben - auch die gültigen und kumulierten Prozentwerte errechnet. Die gültigen Prozente zeigen also die Prozentwerte, die sich auf die Summe aller gültigen Fälle

inklusive fehlender Werte beziehen und dienen somit der besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit. Die letzte Spalte der sogenannten kumulierten Prozente zeigt hingegen die addierten (gültigen) Prozentwerte.

Der Wert in Zeile drei „Gesamt 100“ bei den gültigen Prozenten steht folglich für die Summe der prozentualen Werte in Zeile eins und zwei (82,1+17,9). Ebenso ergibt sich die Zahl 100 bei den kumulierten Prozenten aus der identischen Addition.

Tabelle 7: Unfallmechanismus - Extension oder Flexion

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Extensionsfraktur	288	73,3	82,1	82,1
Flexionsfraktur	63	16,0	17,9	100,0
Gesamt	351	89,3	100,0	
Fehlend keine exakte Angabe	42	10,7		
Gesamt	393	100,0		

3.2 Frakturarten und damit verbundene Dislokationsrisiken

3.2.1 Allgemeine Frakturtypen

Die in der folgenden Grafik (Abbildung 22) dargestellten Frakturtypen beziehen sich auf das gesamte Studienkollektiv. Neben geschlossenen Frakturen (72,8%) ohne weitere Besonderheiten wurden lediglich 8 offene Brüche (2,0%) erfasst. Bei diesen waren 7 als Grad I° und lediglich ein Fall als Grad II° eingestuft worden. Alle weiteren Sonderformen sind demnach als geschlossen zu sehen und deshalb zum Zwecke der besseren Unterscheidung blau markiert in Abbildung 22 dargestellt. Der extraartikulären Aitken-1-Fraktur wird hierbei mit 19,8% bzw. 78 Fällen besondere Aufmerksamkeit zuteil, zumal diese im Rahmen aller geschlossenen Sonderformen die mit Abstand größte Gruppe darstellt.

Festzuhalten bleibt jedoch, dass in dieser Untersuchung die geschlossenen Frakturen ohne Gelenkbeteiligung oder Trümmerbildung und unvollständigen Grünholzfrakturen im Regelfall überwiegen.

Eine Analyse der Häufigkeit einer sekundären Dislokation in Abhängigkeit von der Frakturart ergab bei einer generellen Dislokationsrate von 36,4% einen weitgehend gleichförmig hohen Prozentsatz der Problematik für geschlossene (41,9%), offene (37,5%), Grünholz- (33,3%) und Aitken-1-Frakturen (26,9%). Ein eventuelles Abrutschen aufgrund eines erneuten Traumas, bei Refraktur oder bedingt durch eine defekte bzw. nicht adäquate Gips- und Schienungstechnik

(siehe Abbildung 32) wurde wie bei allen weiteren Untersuchungen nicht mit einbezogen. Eine Abhängigkeit zwischen den genannten Frakturarten und einer damit verbundenen, sekundären Abrutschgefahr lässt sich somit nicht nachweisen.

Die sekundäre Dislokation machte jedoch im Falle der geschlossenen Frakturen in 29,2% der Fälle eine erneute Intervention im Sinne einer Reposition notwendig. Nur 5,3% wurden durch eine sekundäre Kirschnerdrahtosteosynthese therapiert. Die restlichen 65,5% verblieben demnach trotz erneuten Abrutschens unbehandelt. Bei den offenen insgesamt 3 sekundär dislozierten Brüchen war 2x eine Rereposition erfolgt. Auch die 4 abgerutschten Fälle der Grünholzfrakturen führten in 2 Fällen zu einer wiederholten Reposition. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Hälfte aufgrund der minimal ausgeprägten Achsabweichung dem Remodeling überlassen werden konnte und folgenlos ausheilte.

Von den 21 im Nachhinein dislozierten Aitken-1-Frakturen kam zudem 4x die Kirschnerdrahtosteosynthese und 8x die Rereposition zum Einsatz. Neun blieben unbehandelt bei guter Aussicht auf vollständige Wiederherstellung.

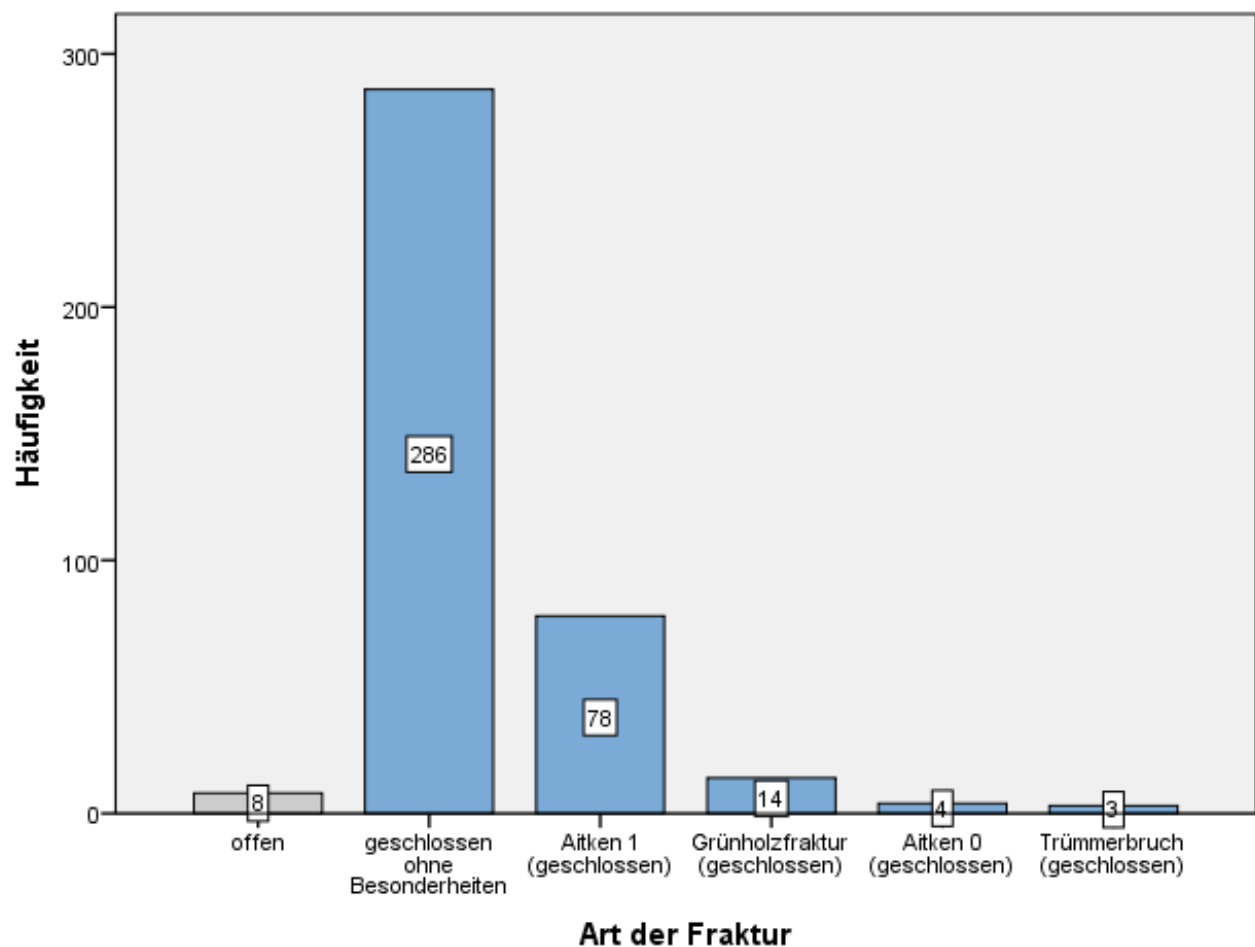


Abbildung 22: Verteilung der Frakturtypen nach offen und geschlossen bzw. Sonderformen

3.2.2 Komplette Unterarmfrakturen und isolierte radiale Frakturen

Nach Festlegung der Definition der kompletten und isolierten radialen Unterarmfraktur (siehe Kapitel 2.3) wurden mit leichter Mehrheit 50,9% d.h. 191 aller Frakturen als komplett, im Sinne einer zusätzlichen ulnaren Läsion, registriert. 49,1% bzw. 184 waren radial. Die somit untersuchte Gesamtzahl von 375 Fällen ergibt sich nach Abzug der insgesamt 18 sekundären Dislokationen, die aufgrund erneuter Traumata oder defekten bzw. nicht anliegenden Schienungen entstanden sind.

Ein entscheidender Unterschied stellte sich in der sekundären Dislokation dar, da komplette Brüche beider distaler Unterarmknochen zu 9,7% öfter sekundär dislozierten als der radiale Typ (siehe Tabelle 8). Folglich stehen komplette Brüche mit 42,9% nachträglichen Dislokationen 33,2% sekundären Abgleiten bei radialen Frakturen gegenüber. Der dabei errechnete p-Wert liegt

mit 0,051 oberhalb des im Vorfeld bestimmten Signifikanzniveaus, vermag jedoch eine diesbezügliche Tendenz anzuzeigen.

64,6% der unerwünschten nachträglichen Dislokationen im Bereich der kompletten Frakturen blieben dabei ohne weitere Interventionen dem regulären Heilungsverlauf überlassen und zeigten - wie erwartet - eine gute bis sehr gute restitutio ad integrum. Demzufolge mussten aber auch im Bereich der kompletten Brüche 26,9% einer erneuten Reposition und 8,5% einer sekundären Kirschnerdrahtosteosynthese unterzogen werden. Bei den isoliert radialen Unterarmfrakturen wurden 55,7% unversorgt belassen, 39,3% erhielten eine Rereposition und 4,9% eine Fraktursicherung durch Einbringung von Kirschnerdrähten.

Tabelle 8: Komplette – isolierte radiale Unterarmfraktur und sekundäre Dislokation

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Frakturart	radial	Anzahl	123	61	184
		Anteil	66,8%	33,2%	100,0%
	komplett	Anzahl	109	82	191
		Anteil	57,1%	42,9%	100,0%

3.2.3 Frakturen mit und ohne distale Fugenbeteiligung

Brüche mit Wachstumsfugenbeteiligung, also die hier untersuchten Aitken-0- oder Aitken-1-Frakturen (siehe 2.1), ergaben unter Beachtung aller Fälle einen Anteil von 20,8%. Diejenigen ohne Epiphysenfugen-Läsionen zeigten eine statistisch signifikante ($p=0,005$), um 16,7% höhere Dislokationsrate (siehe Tabelle 9). Die Differenz berechnet sich aus 121 sekundären Dislokationen ohne Fugenbeteiligung und einer wesentlich geringeren Anzahl von 22 registrierten Fällen bei Brüchen mit Fugenverletzung. Das korreliert auch mit einer Untersuchung der Frakturhöhe und der damit verbundenen Abrutschgefahr in Tabelle 11. Brüche ohne Fugenbeteiligung sind weiter proximal gelegen und damit wohl als instabiler zu sehen. Diese Feststellung könnte durch Erfahrungen anderer Studien mit Hinweis auf die Schwierigkeiten z.B. einer meta-diaphysären Fraktur untermauert werden.

Tabelle 9: Fugenteilnahme und sekundäre Dislokation

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Wachstumsfugen- beteiligung	ohne	Anzahl	167	121	288
		Anteil	58,0%	42,0%	100,0%
	mit	Anzahl	65	22	87
		Anteil	74,7%	25,3%	100,0%

3.2.4 Angabe der Dislokationsrichtung

Auf die bloße, wenig anschauliche Aufzählung der primär diagnostizierten Dislokationsrichtungen wird an dieser Stelle bewusst verzichtet, obgleich sie in der Praxis der Frakturbehandlung entscheidend zur Fragestellung bei der Anwendung einer Immobilisation in Scheedestellung beiträgt. Aus der Untersuchung eines Zusammenhanges der späteren Dislokation mit der beim Unfall zugezogenen Ausrichtung der Fragmentabweichung resultierte somit folgendes Ergebnis:

Bei primär dorsaler Komponente wurden 22,2% mehr sekundäre Dislokationen beobachtet, als bei volarer (siehe Tabelle 10). Es zeigten demzufolge 125 von 292 dorsal dislozierten Frakturen und lediglich 14 von 68 volar dislozierten Brüchen ein erneutes, primär nicht absehbares, Abgleiten der Frakturenenden mit Verlust der in der Ersttherapie erzielten Position. Der p-Wert von 0,003 belegt die statistische Signifikanz dieses deutlichen Unterschiedes.

Tabelle 10: Primäre Dislokationsrichtung und sekundäre Dislokation

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Dislokationsrichtung	dorsale Komponente	Anzahl	167	125	292
		Anteil	57,2%	42,8%	100,0%
	andere Richtung	Anzahl	5	4	9
		Anteil	55,6%	44,4%	100,0%
	volare Komponente	Anzahl	54	14	68
		Anteil	79,4%	20,6%	100,0%
Gesamt		Anzahl	226	143	369
		Anteil	61,2%	38,8%	100,0%

Die untersuchte Gesamtzahl von 369 ergibt sich nach Abzug 6 fehlender, weil nicht genau definierter Werte und den 18 ignorierten bei erneutem Trauma/defektem Cast. Letztere würden das Ergebnis nämlich verzerren.

Die hier aufgeführten 9 „anderen“ primären Dislokationsrichtungen beziehen sich konkret auf Kombinationen dorsaler, volarer und schräg verlaufender Ausführungen, die den beiden exakt nachvollziehbaren Gruppen der volaren oder dorsalen Richtung nicht zuzuordnen waren.

3.2.5 Angabe der Frakturlokalisation

Als Unterscheidungskriterien zur Feststellung der Lokalisation einer distalen dislozierten radialen Fraktur wurden die Begriffe der Epi- bzw. Metaphyse sowie der Übergang von der Meta- zur Diaphyse und eine Kombination aus involvierter Epi- und Metaphyse betrachtet. Diese die Frakturläsion betreffenden Knochenabschnitte wurden sodann in Bezug auf eine sekundäre Dislokation betrachtet.

Das Risiko für ein erneutes Abrutschen steigt deutlich bei Frakturen, die am Übergang der Meta- zur Diaphyse liegen. Hierbei waren 39,5% sekundär disloziert. Minimal mehr (46,0%) dislozierten auf Höhe der Metaphyse. Als sehr viel unproblematischer sind laut Tabelle 11 epiphysäre und Aitken-1-Brüche (Epi- und Metaphyse) zu werten, die zu je ca. 25% ihre Position nicht halten konnten. Der per Chi-Quadrat-Test ermittelte Wahrscheinlichkeitswert p von 0,000 stützt diese Aussage der mit einer meta- diaphysären bzw. metaphysären Frakturlage verbundenen hohen Abrutschgefahr.

Tabelle 11: Frakturlokalisation und sekundäre Dislokation

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Lokalisation der Fraktur	Metaphyse	Anzahl	67	57	124
		Anteil	54,0%	46,0%	100,0%
	Epiphyse	Anzahl	6	2	8
		Anteil	75,0%	25,0%	100,0%
	Übergang Metaphyse-Diaphyse	Anzahl	95	62	157
		Anteil	60,5%	39,5%	100,0%
	Epiphyse & Metaphyse	Anzahl	64	22	86
		Anteil	74,4%	25,6%	100,0%

3.2.6 Begleitverletzungen des gleichen Armes

Die sekundäre Dislokationshäufigkeit in Abhängigkeit von verschiedenen Begleitverletzungen des seitengleichen Armes bei einer diagnostizierten dislozierten distalen Radiusfraktur zeigt in Tabelle 12, wie in Kapitel 3.2.2, den höheren Prozentsatz an später abgerutschten Frakturen bei kompletten Brüchen (mit „Ulnafraktur“). Hier dislozierte im Nachhinein ein hoher Prozentsatz von 44,9%, wohingegen isoliert radiale Frakturen nur zu 34,1% dieser Problematik erlagen. Die untersuchte Gesamtzahl von 176 radialen zu 158 radial und ulnar kombinierten Brüchen erlaubt diesen Vergleich bei nahezu gleich großem Vergleichskollektiv. Deutlich wird aber auch, dass zusätzliche Brüche des Processus styloideus ulnae eine vergleichbar hohe Dislokationsrate (33,3%) wie reine Speichenbrüche ohne Begleitverletzungen (34,1%) haben. Sie haben also keinen Einfluss im Gegensatz zu den additiven ulnaren Frakturlinien.

Unter „andere“ Begleitverletzungen (siehe Tabelle 12) wurden Kombinationen aus ulnaren Brüchen mit suprakondylären Humerusfrakturen, sowie isolierte suprakondyläre Humerusfrakturen, als auch Epiphysiolysen der Ulna zusammengefasst.

Tabelle 12: Begleitverletzungen und sekundäre Dislokation

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Begleitverletzung am gleichen Arm	Keine	Anzahl	116	60	176
		Anteil	65,9%	34,1%	100,0%
	Ulnafraktur	Anzahl	87	71	158
		Anteil	55,1%	44,9%	100,0%
	Proc. styloideus ulnae	Anzahl	22	11	33
		Anteil	66,7%	33,3%	100,0%
	Andere	Anzahl	7	1	8
		Anteil	87,5%	12,5%	100,0%

3.3 Der primäre Behandlungszeitpunkt

Den genauen Behandlungszeitpunkt der Erstversorgung im Dr. von Haunerschen Kinderspital zeigt Abbildung 23. So konnten 71,0% aller Unfälle noch am selben Tag versorgt werden. Nach einfacher Ruhigstellung mittels Gipsschienung wurden 23,4% am darauffolgenden Tag behandelt. Die geringe Zahl von 5,6%, die erst innerhalb einer Woche therapiert werden konnte, ist größtenteils auf Unfallgeschehen im Ausland und die damit verbundene logistische Problematik zurückzuführen.

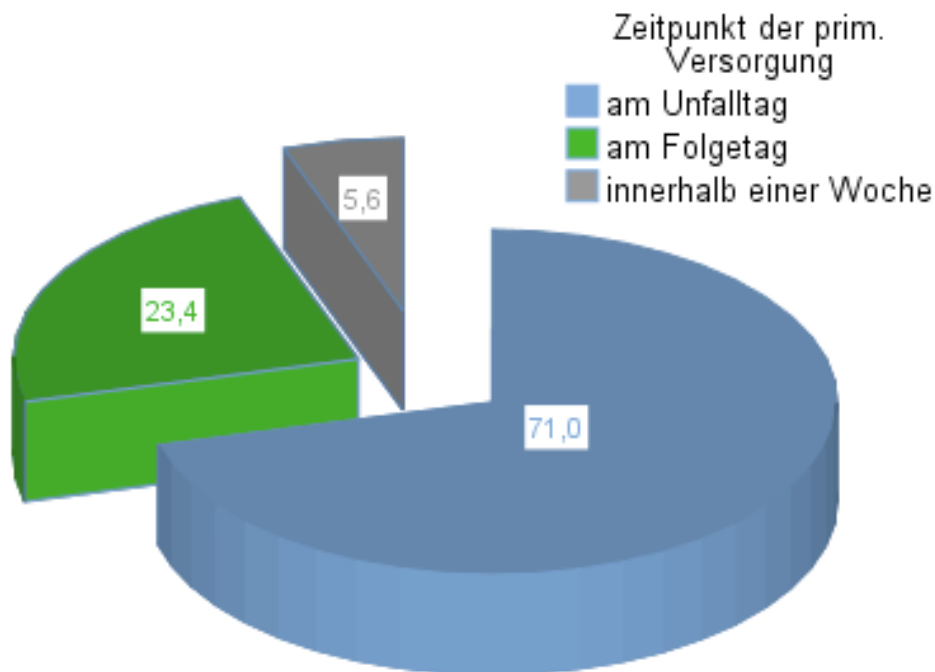


Abbildung 23: Zeitpunkt der primären Versorgung

3.4 Dauer des stationären Aufenthaltes im Therapievergleich

Im Mittel verbrachten sämtliche 383 Patienten, außer einem Patienten mit Polytrauma und einer deshalb prolongierten Aufenthaltsdauer von 31 Tagen, 1,5 Tage im Dr. von Haunerschen Kinderspital in München. 44,4% und damit die Mehrzahl blieb genau 2 Tage, wobei bei 89,5% der Kinder eine Aufenthaltsdauer von 0-2 Tagen verzeichnet wurde.

Im Vergleich der Therapieoptionen schlüsselt sich die durchschnittliche Aufenthaltsdauer - beginnend mit der Kürzesten - wie folgt auf (Tabelle 13):

Bei einer primären Reposition ohne Zweiteingriff waren im Mittel 1,66 Tage im Krankenhaus verbracht worden. Dabei wurden aber bereits 33,6% noch am Unfalltag entlassen und 64,1% verblieben zur Überwachung über Nacht. Bei der wiederholten Reposition der Frakturenden mussten als Mittelwert bereits 2,50 Tage veranschlagt werden. Ein ähnlicher Wert von 2,58 Tagen ergibt sich für die primäre Kirschnerdrahtosteosynthese inklusive der notwendigen Metallentfernung. Die Hälfte der dieser Therapie unterzogenen Kinder verbrachten 3 Tage in der Klinik. Am Längsten jedoch verweilten die Patienten mit primärer Reposition, sekundärer Kirschnerdrahtosteosynthese und konsekutiver Metallentfernung. Der Mittelwert von 3,58 Tagen mit einer hohen Standardabweichung von fast einem Tag, bei 41,7% Patienten mit genau 4 Tagen

Aufenthaltsdauer, spricht gegen diesen nicht nur zeitlich gesehen ungünstigen Wechsel der Therapieoptionen.

Tabelle 13: Therapieoptionen und stationäre Aufenthaltsdauer

Therapieart	Dauer in Tagen (Mittelwert)	Standardabweichung	Prozentuale Mehrheit
Primäre Reposition ohne Zweiteingriff	1,66	0,536	64,1% über Nacht 33,6% am Unfalltag entlassen
Zweifache Reposition	2,50	0,882	42,9% 2 mal 1 Tag
Primär K-Draht inkl. Metallentfernung	2,58	0,974	50% 3 Tage
Sekundär K- Draht inkl. Metallentfernung und primärer Reposition	3,58	0,996	41,7% 4 Tage

Dass Therapiewechsel eine längere Behandlungszeit im Krankenhaus in Anspruch nehmen und zudem vermehrte Kosten hervorrufen, ist nicht weiter verwunderlich. Interessant ist aber, dass den Kindern nicht nur durch die primäre Osteosynthese, sondern auch durch die wiederholte Reposition jeweils im Schnitt ein voller Kliniktag im Vergleich zur sekundären Kirschnerdrahtosteosynthese erspart werden konnte. Zweifache Reposition und primäre Kirschnerdrahtosteosynthese sind, wie bereits aufgeführt, zeitlich gesehen sehr ähnlich, auch wenn die Drahtversorgung eine etwas größere Standardabweichung und damit Streuung der stationären Aufenthaltsdauer aufweist.

3.5 Anzahl der Röntgenkontrollen im Therapievergleich

Die allgemeingültige Forderung einer auf das Minimum reduzierten Strahlenbelastung bei gleichzeitig ausreichend hoher Frequenz der Röntgenkontrollen wurde zum Anlass genommen, die Quantität der Röntgenaufnahmen bei verschiedenen Therapieansätzen gegenüberzustellen (siehe Tabelle 14).

Die Reposition ohne weitere therapeutische Eingriffe wurde von im Mittel 2,82 Kontrollaufnahmen begleitet. Im Rahmen der primären Kirschnerdrahtosteosynthese wurden nahezu gleich viele (2,92) Aufnahmen angefertigt. Der Therapiewechsel von der Reposition zur

Kirschnerdrahtosteosynthese forderte bereits 3,83 und die wiederholte Reposition sogar 4,07 radiologische Kontrollen. Darüber hinaus ergab sich, ungeachtet der Behandlungsart, ein genereller Mittelwert von 2,98 Kontrollaufnahmen.

Insgesamt ist die Strahlenbelastung einer radiologischen Aufnahme des distalen Unterarmes mit circa 0,04 mSv Äquivalentdosis anzugeben. Dies bezeichnet die vom Körper aufgenommene Energiedosis welche zuvor mit einem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert wurde. In Relation zur terrestrischen Strahlung, die mit circa 1 mSv beziffert wird, handelt es sich hierbei also um den 25. Bruchteil [35].

Tabelle 14: Therapieoptionen und Anzahl der Röntgenkontrollen

Therapieart	Anzahl der Kontrollen (Mittelwert)	Standardabweichung
Primäre Reposition ohne Zweiteingriff	2,82	1,025
Primär K-Draht inkl. Metallentfernung	2,92	1,222
Sekundär K- Draht inkl. Metallentfernung und primärer Reposition	3,83	1,85
Zweifache Reposition	4,07	1,72

Während die einmalige Reposition und die primäre Einbringung der Drähte normalverteilt gut vergleichbar sind, muss der Eindruck der sehr hohen Zahl an radiologischen Kontrollen bei der zweifachen Reposition etwas korrigiert werden. Ein Blick auf die Kurven der sekundären Kirschnerdrahtosteosynthese und der zweifachen Reposition verrät die Ausreißer (siehe hochgestellte Zahlenwerte bei Abbildung 24, Abbildung 25). Deren Existenz ist nicht zu vernachlässigen und sollte deshalb auch nicht ausgeklammert werden, verleitet aber zu einer weitaus höheren Gesamteinschätzung. Die eigentliche Spanne an Röntgenkontrollen ist somit bei der „Nachreposition“ mit 1-6, bei der sekundären Kirschner-Draht-Versorgung immer noch etwas geringer mit 1-5 Aufnahmen anzugeben. Jedoch nimmt natürlich auch die Zahl der intraoperativen Befundkontrollen bei mehrfachen Eingriffen zu und sollte- auch wenn hier nicht mit berücksichtigt- keinesfalls unerwähnt bleiben.

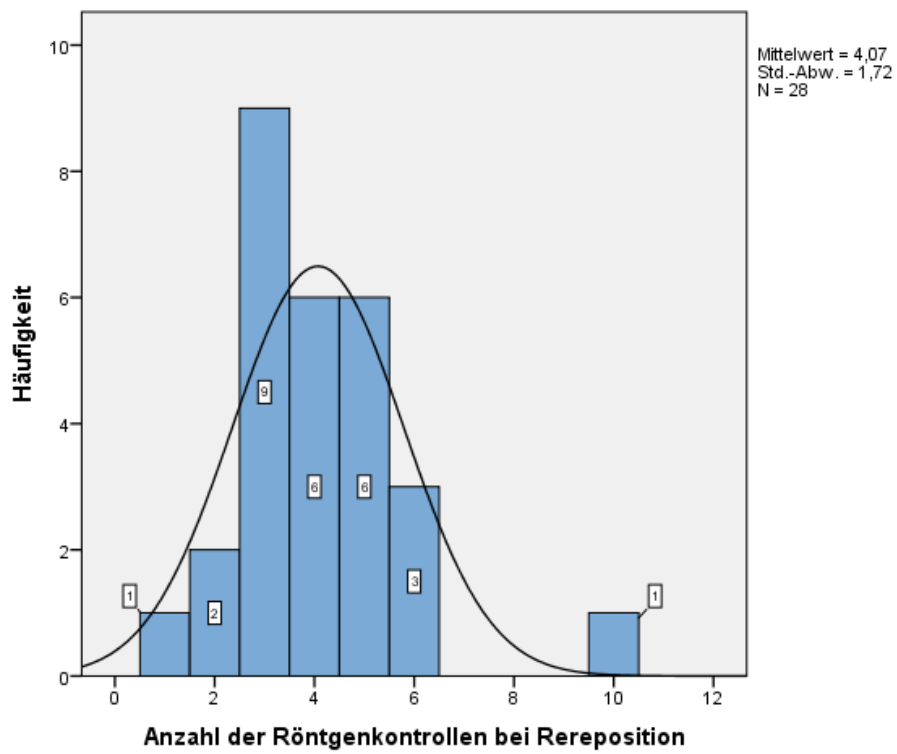


Abbildung 24: Anzahl der Röntgenkontrollen bei zweifacher Reposition ohne Berücksichtigung der intraoperativen Aufnahmen

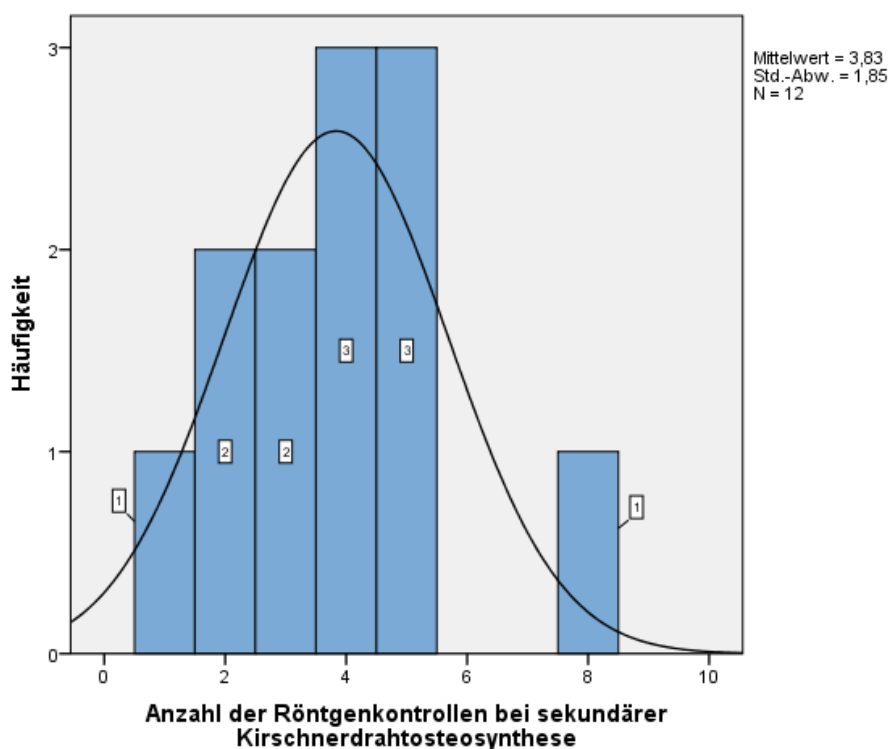


Abbildung 25: Anzahl der Röntgenkontrollen bei sekundärer Kirschnerdrahtosteosynthese ohne Berücksichtigung der intraoperativen Aufnahmen

3.6 Radiologischer Erkennungszeitpunkt einer sekundären Dislokation

Die These der meist frühzeitig auftretenden sekundären Dislokation [127] bzw. deren vorwiegende Identifikation in der ersten Woche nach Behandlung kann mit 57,3% bestätigt werden. Tabelle 15 zeigt wann die restlichen Positionsveränderungen diagnostiziert wurden.

Die mehrheitlich nach einer Woche angefertigte, erste radiologische Kontrolle ist also eine berechnigte Standarduntersuchung bei diesem speziellen Frakturtyp. Der entscheidende zweite Kontrolltermin mit einer Dislokationsrate von 14,7% lag in der 4. Woche.

In der 2. und 3. Woche wurden je knapp 10% aller Dislokationen erfasst. Diese radiologischen Kontrollen wurden aufgrund der primär großen Achsabweichung oder Translation zusätzlich veranlasst und erhielten dadurch ihre rechtfertigende Indikation. Insgesamt erscheinen damit die ersten 4 Wochen bei abrutschgefährdeten Brüchen als entscheidend, um bei Bedarf frühzeitig intervenieren zu können.

In der 5. und 6. Woche nach Unfallgeschehen wurden nur noch 2,1% bzw. 4,9% sekundäre Dislokationen registriert und im Bedarfsfall therapiert. Konkret wurde demzufolge von 3 in der 5.

Woche entdeckten Dislokationen keine erneut therapiert, aber von insgesamt 7 in der 6. Woche erfassten, erneut abgerutschten Brüchen 2 einer nachträglichen Reposition unterzogen.

Tabelle 15: Erkennen der sekundären Dislokation in Röntgenkontrollen

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	1. Woche	82	57,3
	2. Woche	13	9,1
	3. Woche	14	9,8
	4. Woche	21	14,7
	5. Woche	3	2,1
	6. Woche	7	4,9
	1. Tag	2	1,4
	Gesamt	142	99,3
Fehlende Angabe (der Kontrollwoche da alio loco)		1	,7
Gesamt		143	100,0

3.7 Altersabhängige Konsolidierungszeit

Die Zeit, die bis zur Konsolidierung benötigt wird, ist bekanntermaßen nicht von der Therapieart abhängig [31]. Vielmehr entscheidet das Alter über die Geschwindigkeit der voranschreitenden Frakturüberbrückung [33]. Tabelle 16 präsentiert die zuvor festgelegten Altersgruppen und deren Konsolidierungszeit in Wochen. Der Mittelwert der knöchernen Konsolidierung betrug demnach bei den 1-5 Jährigen 5,29 Wochen, bei der Altersgruppe der 6-11 Jährigen 5,85 und bei den 12-18 Jährigen 6,23 Wochen. Je jünger das Kind, desto schneller verwächst demnach der Bruch.

Die Gesamtzahl von 292 erklärt sich dadurch, dass $\frac{3}{4}$ aller Patienten innerhalb des radiologischen follow-ups vollständig konsolidierten. 17,6% waren bis zur letzten Röntgenkontrolle laut Definition nicht komplett überbrückt, wurden aber bei ausreichender Stabilität und klinischer Beschwerdefreiheit freigegeben oder zusätzlichen klinischen Kontrollen unterzogen. Weitere 8,1% erschienen nicht zur radiologischen Kontrolle. Der Mittelwert aller erfassten Konsolidierungszeiten beträgt 5,91 Wochen, wie auch in Abbildung 26 ersichtlich wird.

Einzig Aitken-0- und Aitken-1-Frakturen verheilen im Mittel um 1,16 Wochen schneller als die übrigen Frakturarten. Bei 67 konsolidierten Aitken-0- und Aitken-1-Typen wurde ein durchschnittlicher Wert von 4,75 Wochen ermittelt.

Die zum Teil extrem langen Konsolidierungszeiten in Abbildung 26 liegen im wiederholten Intervenieren im Sinne einer Rereposition oder sekundären Drahtversorgung begründet.

Tabelle 16: Knöcherne Konsolidierung in Wochen

Altersgruppe	Mittelwert	N	Standardabweichung
1-5 Jahre	5,29	41	2,462
6-11 Jahre	5,85	148	3,569
12-18 Jahre	6,23	103	3,040
Insgesamt	5,91	292	3,256

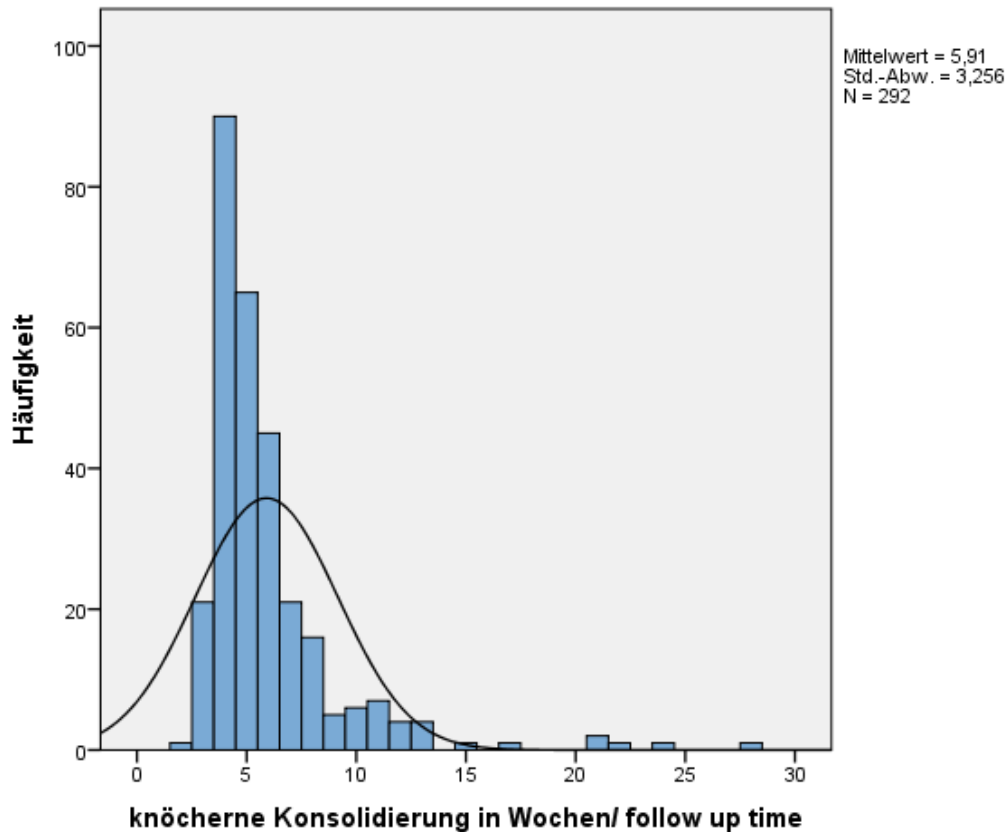


Abbildung 26: Allgemeine knöchernen Konsolidierungszeit in Wochen

3.8 Anzahl und Durchführung der Therapien

3.8.1 Primäre und sekundäre Versorgung in Zahlen

Alle Therapiemöglichkeiten der Erstversorgung und auch der bisweilen notwendigen Zweitversorgung sind in Balkendiagrammen dargestellt (siehe Abbildung 27 und Abbildung 29). Zur besseren Übersichtlichkeit werden die primären Optionen erneut unter Zusammenfassung der offenen und geschlossenen Osteosynthese-Einbringung sowie unter Subsumierung der „alio loco“ behandelten Fälle in Abbildung 28 repräsentiert. So entsteht ein Tortendiagramm mit Blick auf die alleinige Schienung, die einmalige geschlossene Reposition mit dem größten Anteil von

66,9%, die Kirschnerdrahtosteosynthese mit 6,4%, sowie die mit nur 0,3% der Fälle sehr seltene Einbringung von Nancy- Nägeln.

Es wird deutlich, dass in 60,6% (238) der Studienfälle keinerlei sekundäre Intervention vorgenommen wurde bzw. bei 20,4% (80 Fälle) lediglich ein standardmäßiges Umgipsen nach zwei Wochen von der Scheede- in eine Neutral-Null-Stellung (siehe 2.3) erfolgte. Das lässt bereits auf eine insgesamt niedrige Rate an Zweiteingriffen schließen, wobei die Beurteilung des damit erzielten Endergebnisses an dieser Stelle noch aussteht.

Mit jeweils einem Patienten waren der sekundäre operative Wundverschluss bei enormer, posttraumatisch bedingter Schwellung, die Gipskeilung als alternativer Repositionsversuch und die parallele (sekundäre) Kirschner-Draht-Einbringung absolute Randerscheinungen.

Sechs geschlossene, erneute Repositionsversuche blieben aufgrund bereits vorangeschrittener Konsolidierung ohne Erfolg. Fehlstellungen wurden in diesem Zusammenhang zur Vermeidung einer Refrakturierung bei zu erwartendem Korrekturpotential belassen. Drei Patienten dieser Gruppe hatten primär „alio loco“ keine Reposition erhalten und zwei stellten sich mit einer wenig zufriedenstellenden, andernorts vorgenommenen Reposition erneut im Dr. von Haunerschen Kinderspital vor. Nur ein Bruch konnte nach vorheriger Ersteinrichtung im Dr. von Haunerschen Kinderspital auch nicht im zweiten Anlauf nach sekundärer Dislokation in der 2. Woche neu eingerichtet und korrigiert werden. Inwieweit die zuletzt noch bestehenden Achsabweichungen ausgeglichen wurden, konnte nicht geklärt werden. Leider wurden die Fragebögen von eben diesen Patienten nicht beantwortet.

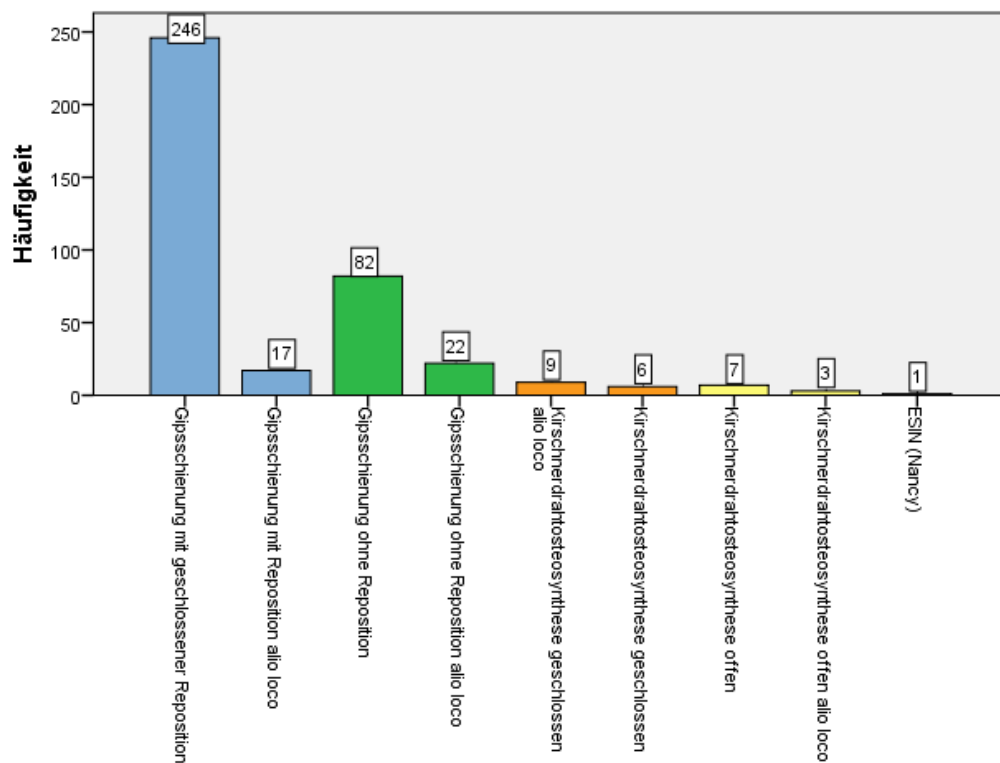


Abbildung 27: Häufigkeit aller primären Versorgungen

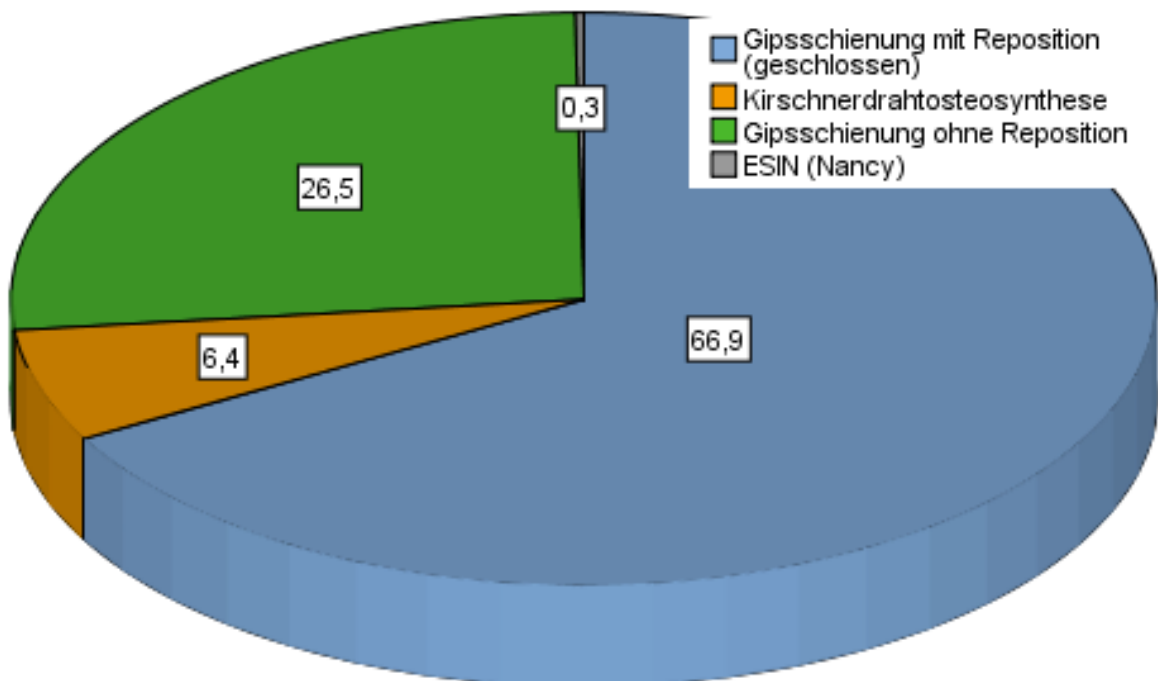


Abbildung 28: Häufigkeit aller primären Versorgungen (kompakt)

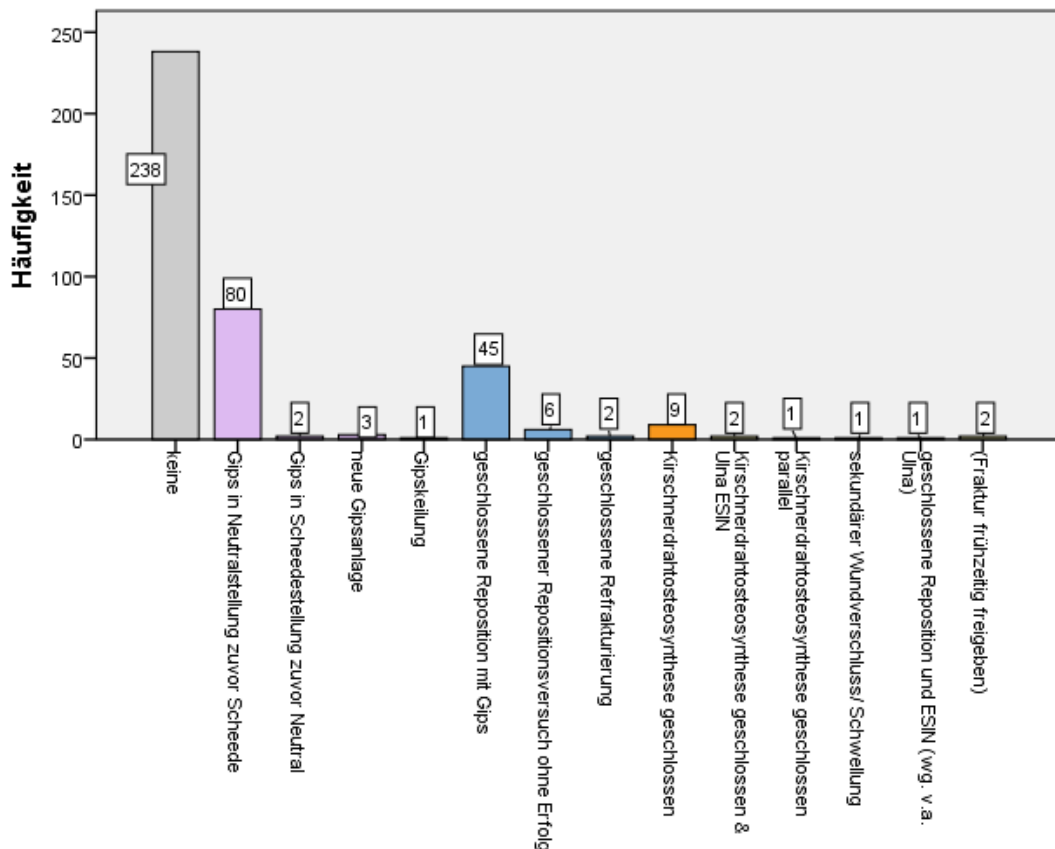


Abbildung 29: Häufigkeit aller sekundären Versorgungen

3.8.2 Primäre und sekundäre Versorgung in Abhängigkeit vom Alter

Von insgesamt 263 primären Repositionen (siehe blaue Balken in Abbildung 27), die ausschließlich geschlossen vorgenommen wurden, verblieben 223 ohne Zweiteingriff im Sinne einer erneuten operativen Korrektur. 50,7% dieser einmalig eingerichteten Frakturen entfielen dabei auf die Altersgruppe der 6- bis 11-Jährigen. Bei den 12-18 Jahre alten Kindern war hingegen ein geringerer Prozentsatz von 38,1% festzustellen.

Die sekundäre Versorgung mit Kirschner-Drähten aufgrund einer nicht vorhersehbaren Dislokation, ohne Berücksichtigung eines Abrutschens bei instabil angelegten Gipsen oder erneuten Stürzen und damit verbundenen Refrakturen wurde in 10 Fällen angewandt. Das bedeutet gleichzeitig, dass bei der Gesamtsumme von 12 sekundären Kirschnerdrahtosteosynthesen 2 in Folge einer Refraktur bzw. einer Dislokation bei schlechter Gipstechnik eingebracht wurden. Keine der 10 Osteosynthesen kam bei 1- bis 5-jährigen zur Anwendung. 80% aller in der Zweitversorgung eingebrachten Drähte entfielen aber auf die 12-18 Jahre alten Patienten, die selbst nur noch ein reduziertes Potential an Remodellierung in sich tragen und somit weitgehend sicher stabilisiert werden sollten und konnten.

In zweierlei Hinsicht ist hierbei der Kasus eines 14-jährigen Jungen erwähnenswert. Dessen als Aitken-1 klassifizierte Fraktur mit einer Translation von einer $\frac{1}{2}$ Schaftbreite und einer dorsalen Achsabweichung von 26° wurde zunächst durch Reposition und bei darauffolgender Dislokation durch Verdrahtung therapiert. Diese war aber nicht wie üblich gekreuzt, sondern als einzige (siehe Abbildung 29) parallel eingebracht worden. Laut Operationsbericht konnte mit diesem Vorgehen die Kortikalis jedoch nur knapp gefasst werden. Nur bei diesem Patienten erfolgte eine tertiäre, volare Plattenversorgung, da das Ergebnis nach einem zweiten Positionsverlust nur so gehalten werden konnte. Kein weiterer derartiger Fall war im Dr. von Haunerschen Kinderspital im untersuchten Zeitraum bekannt. Vorschnelle Rückschlüsse auf die absolute Bevorzugung der gekreuzten gegenüber der parallelen Drahtosteosynthese sind trotzdem zu vermeiden.

Eine sekundäre Reposition fand in insgesamt 46 Fällen bei unerwarteter Dislokation, also ohne Gipsversagen oder Refraktur, statt. Davon war in 28 Fällen auch primär eine Reposition durchgeführt worden. Das bedeutet im Umkehrschluss: Bei 18 Fällen wurde erst sekundär eine Behandlung durch Reposition vorgenommen. 50% der 46 sekundären Repositionen kamen bei 6- bis 11-jährigen zur Anwendung. Bei den jungen Patienten (1-5 Jahre) sah man demzufolge weniger häufig (19,6%) den Bedarf zur wiederholten Einrichtung der Fragmente und bezog deren Korrekturmöglichkeiten in das Therapiekonzept mit ein.

3.8.3 Einsatz der Fingerextensionshüllen bei der primären Versorgung

Ein Einsatz der Fingerextensionshüllen, die auch als Mädchenfänger bezeichnet werden, konnte nur in 5,4% der in diesem Punkt untersuchten 367 Patienten nachgewiesen werden. Bei dem recht niedrigen Anteil stellt sich folglich die Frage, ob nur entsprechend stark ausgeprägte Eintauchungen der Knochenfragmente diese Anwendung rechtfertigen.

Bei der zuerst festgelegten Einteilung der Eintauchtiefen in 5 mm Abständen wurden im Bereich von >10 bis ≤ 15 mm 30,4% innerhalb dieser Längsverschiebung mit Verkürzung gelegenen Frakturen mit Hilfe des Mädchenfängers gelöst (siehe Tabelle 17). Bei einer Einordnung in drei Gruppen von ≤ 5 mm, >5 bis ≤ 15 mm und >15 mm ergab sich ein weniger deutlicher Wert von 12,0% für die >5 - ≤ 15 mm eingestauchten Frakturen. Da jedoch die Grundvoraussetzungen des Chi-Quadrat-Tests aufgrund der kleinen Fallzahlen nicht vollständig erfüllt werden konnten, ist ein signifikanter Zusammenhang nicht nachweisbar. Zudem sank der prozentuale Anteil des Mädchenfänger-Einsatzes überraschenderweise bei den >15 mm ineinander verschobenen Brüchen auf 13,3%. Die Verwendung bleibt also in erster Linie vom Behandler abhängig.

Tabelle 17: Einsatz der Fingerextensionshüllen in Abhängigkeit der primären Eintauchtiefe

			Einsatz Mädchenfänger		Gesamt
			ja	nein	
Eintauchtiefe	keine	Anzahl	3	192	195
		Anteil	1,5%	98,5%	100,0%
	kleiner 2 mm	Anzahl	2	77	79
		Anteil	2,5%	97,5%	100,0%
	2-5 mm	Anzahl	1	12	13
		Anteil	7,7%	92,3%	100,0%
	5-10 mm	Anzahl	3	24	27
		Anteil	11,1%	88,9%	100,0%
	10-15 mm	Anzahl	7	16	23
		Anteil	30,4%	69,6%	100,0%
Gesamt		Anzahl	20	347	367
		Anteil	5,4%	94,6%	100,0%

3.8.4 Eingesetzte Retentionsarten nach primärer Versorgung

Die nach Erstversorgung angewandten Kunststoff- und Gipsverbände (siehe Kapitel 2.3) wurden vorwiegend nach deren Stellung und Ausmaß beurteilt. Lange Gipse o.ä., die über den Ellbogen extendiert wurden, sind durch den Zusatz OA für Oberarm gekennzeichnet. Dementsprechend steht UA stellvertretend für die nur den Unterarm fassende, kurze Variante.

64,2% erhielten primär einen OA-Gips in leichter Scheedestellung, 22,1% hingegen einen entsprechenden in Neutralstellung (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31). Dabei waren 89,6% der gültigen 335 mit einem Oberarmgips ausgestattet worden. Dieser stellte trotz diesbezüglich kontroverser Meinungen die Methode der Wahl dar. Ein Vergleich zu den nur wenigen Unterarmgipsen entfiel somit.

Obgleich die Scheedestellung des Oberarmgipses bei nach dorsal dislozierten Frakturen bevorzugt wurde, konnte im Vergleich zur Neutralstellung kein Unterschied bezüglich einer eventuell häufigeren Dislokation bei den zwei verschiedenen Gipsstellungen erkannt werden. Konkret dislozierten 37,2% der in Scheedestellung eingegipsten Frakturen und 31,1% bei Neutralstellung (siehe Tabelle 18), wobei die Ausgangswerte der Achsverschiebungen und Translationen bei den

in Scheede versorgten Brüchen etwas höher lagen. Deshalb muss ihnen ein gewisser Vorzug im Halten schwerwiegender distaler Radiusfrakturen zugestanden werden.

Außerdem sprechen neben den kaum beeinflussbaren Dislokationen aufgrund eines erneuten Traumas (2,8% aller Dislokationen) lediglich 1,8% wegen eines defekten oder nicht korrekt anliegenden Gipses aufgetretenen Dislokationen für eine prinzipiell gute Gipstechnik (siehe Abbildung 32) im Rahmen des gesamten Studienkollektivs von 393 Frakturen.

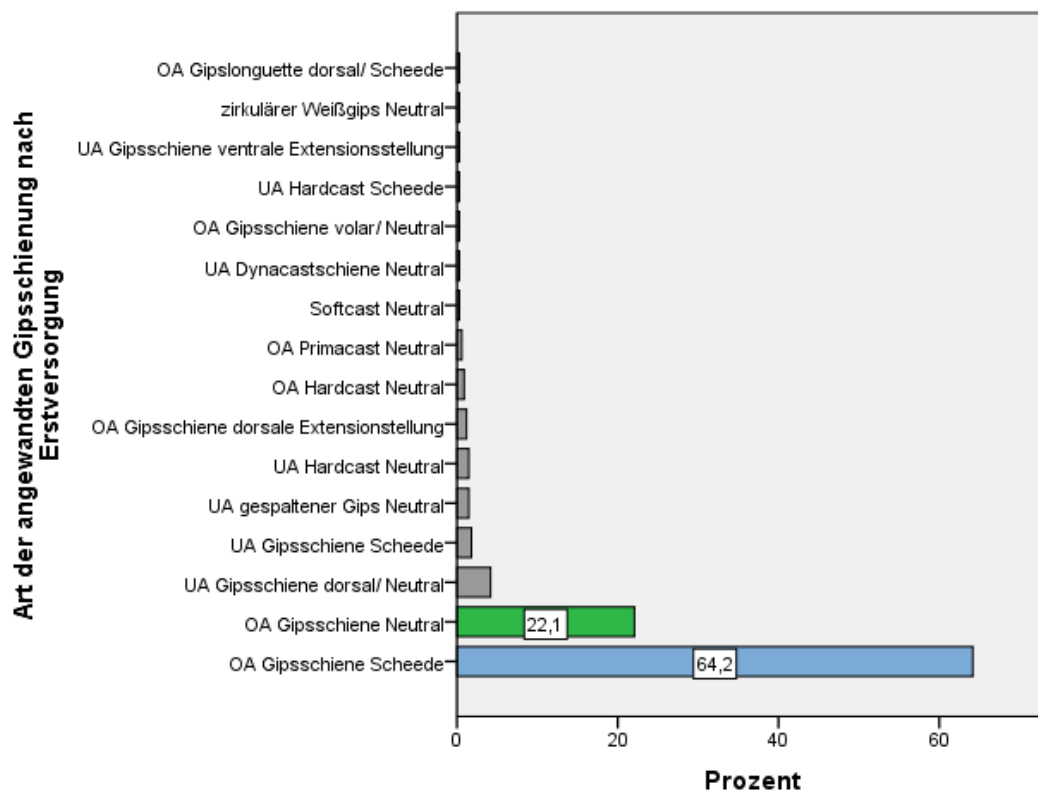


Abbildung 30: Art der angewandten Retention nach Erstversorgung

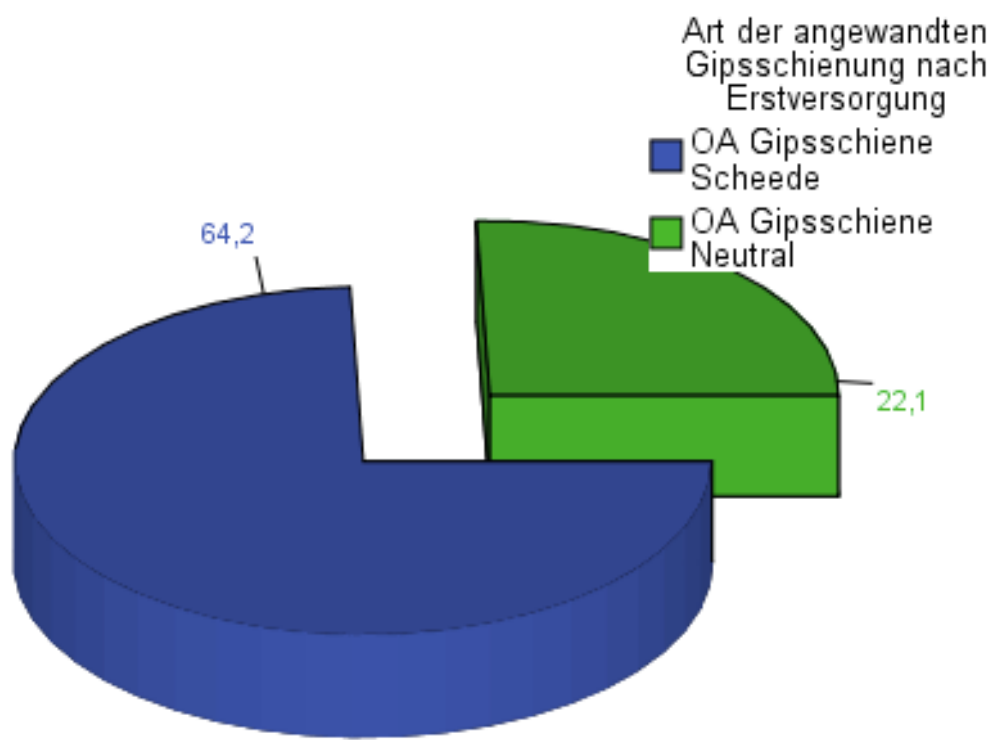


Abbildung 31: OA-Gipsschienung in Scheede oder Neutral

Tabelle 18: Sekundäre Dislokation bei OA-Gips in Scheede- und Neutralstellung

		sekundäre Dislokation				Gesamt
		nein	ja	bei erneutem Trauma/ Refraktur	bei defektem/ nicht anliegendem Cast	
Art der angewandten Gipsschienung nach Erstversorgung	OA-Gips- Anzahl	128	80	4	3	215
	Scheede Anteil	59,5%	37,2%	1,9%	1,4%	100,0%
	OA-Gips- Anzahl	47	23	3	1	74
	Neutral Anteil	63,5%	31,1%	4,1%	1,4%	100,0%
Gesamt	Anzahl	175	103	7	4	289
	Anteil	60,6%	35,6%	2,4%	1,4%	100,0%

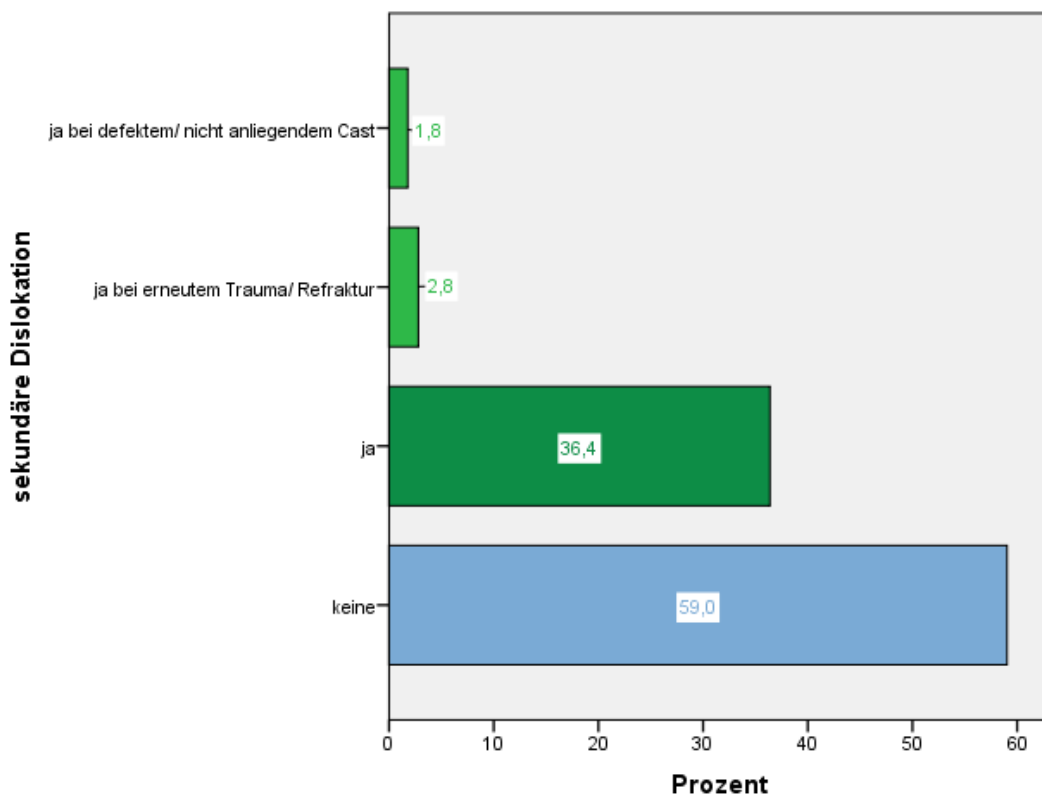


Abbildung 32: Sekundäre Dislokation

3.9 Auftreten der sekundären Dislokation im Therapievergleich

3.9.1 Sekundäre Dislokation im Allgemeinen

Unabhängig von der Behandlungsart zeigt Abbildung 32 die absolute sekundäre Dislokationsquote von 36,4% bei 393 Fällen. Dies erscheint im ersten Moment relativ hoch, da aber im Kontrast zu anderen Studien jegliche Unterschiede zum zuvor erzielten Repositionsergebnis bzw. bei primärer alleiniger Gipsschienung analog sämtliche Veränderungen zum Unfallbild erfasst wurden, relativiert sich diese Aussage. Der Grund für dieses Vorgehen lag in der großen Uneinigkeit bezüglich einer etwaigen vorweg genommenen Grenzsetzung (siehe Tabelle 1). So gesehen war die überwiegende Zahl der Frakturen mit 59,0% absolut unverändert gehalten worden.

In der Gesamtheit konnte die Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen als besonders abrutschgefährdet eruiert werden (siehe Tabelle 19). 45,3% der Kinder dieses Alters erfuhren eine erneute Dislokation, was aber nicht zuletzt auch auf ein weniger strenges Behandlungsregime mit Berücksichtigung etwaiger Korrekturpotenziale zurückzuführen ist. Eine Signifikanz dieser Aussage kann aber nicht bewiesen werden (p -Wert=0,147).

Auch die 6-11 Jährigen erlitten zu 40,5% einen Positionsverlust der Frakturenden und immerhin noch 31,8% bei der ältesten Gruppe der 12-18 Jährigen, deren Therapie jedoch zumeist, wie bereits geschildert, engmaschiger überwacht und strenger durchgeführt wurde.

Tabelle 19: Sekundäre Dislokation in Abhängigkeit vom Alter

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
Altersgruppe	1-5 Jahre	Anzahl	29	24	53
		Anteil	54,7%	45,3%	100,0%
	6-11 Jahre	Anzahl	113	77	190
		Anteil	59,5%	40,5%	100,0%
	12-18 Jahre	Anzahl	90	42	132
		Anteil	68,2%	31,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl		232	143	375
	Anteil		61,9%	38,1%	100,0%

3.9.2 Maximalwerte der Dislokation im Therapievergleich

3.9.2.1 *Primär konservative Behandlung durch alleinige Schienung*

Eine ausschließlich konservative Behandlung durch Schienung ohne Reposition wurde in 104 Fällen, trotz primär vorliegender Dislokation mit Werten von $\leq 10^\circ$ bis maximal 48° unter Berücksichtigung des Alters vorgenommen (siehe Abbildung 34). Laut Abbildung 28 wurden demnach 26,5% aller 393 Frakturen primär auf diese Weise therapiert. 49,0% dislozierten dabei zu einem späteren Zeitpunkt (siehe Tabelle 20). Das entspricht einer 1,90-fach, also nahezu doppelt so hohen Anzahl (25,8%) an Dislokationen im Vergleich zur primären einmaligen Reposition.

Die im Laufe der Beobachtungszeit eingetretenen Maximalwerte der Dislokation (Tabelle 21) sind weit gestreut. 25,6% waren $\leq 10^\circ$ einzuordnen, aber 17,9% mussten bei $>10^\circ$ bis $\leq 15^\circ$ bzw. 20,5% bei maximalen Werten von $>15^\circ$ bis $\leq 20^\circ$ verbucht werden. Je 11,5 bzw. 12,8% fanden sich sogar in den Größenordnungen von 20 bis 30 Grad bzw. bis maximal 48 Grad. Das bedeutet, dass hier nicht nur von durch das zu erwartende Wachstum korrigierbaren Dislokationen die Rede ist. Eine Vorhersage des Maximalwertes ist also nicht möglich und stellt den Verlass auf diese Methode als alleinige Therapie zumindest kritisch in Frage. Weitere Interventionen im Sinne einer nachträglichen Reposition nach initialer alleiniger Schienungstherapie wurden nur in 26 der 104 Fälle unternommen, wobei diese Betrachtung auch ein ursächliches erneutes Trauma oder einen nicht anliegenden Cast mit einbezieht. Das genaue Outcome wird bei der Beurteilung der Endresultate in Kapitel 3.10.2.1 differenziert dargestellt.

Tabelle 20: Sekundäre Dislokation bei nur (Gips-) Schienung

	Häufigkeit	Prozent
keine sekundäre Dislokation	43	41,3
sekundäre Dislokation	51	49,0
bei erneutem Trauma/Refraktur	6	5,8
bei defektem/nicht anliegendem Cast	4	3,8
Gesamt	104	100,0

Tabelle 21: Maximale Dislokationswerte nach nur (Gips-) Schienung

Anteil in %	Maximalwert der Dislokation in Grad°
25,6	≤10
17,9	>10-≤15
20,5	>15-≤20
12,8	>20-≤25
Je 11,5	>25-≤30; >30

3.9.2.2 Primäre alleinige Reposition

Bei der einmaligen primären Reposition (223 Fälle), die ausnahmslos geschlossen vorgenommen wurde, kam es - unter Berücksichtigung von 7 alio loco durchgeführten Repositionen“ - in 74,2% zu keinerlei nachfolgender Dislokation. Demnach verloren zusammengefasst 25,8% (57 Fälle) ihre korrigierte Position der Bruchenden (siehe Abbildung 33). Bei den 1- bis 5-jährigen waren 33,3%, bei 6- bis 11-jährigen 28,3% und den 12- bis 18-jährigen 20,2% bezogen auf die jeweilige Altersgruppe betroffen.

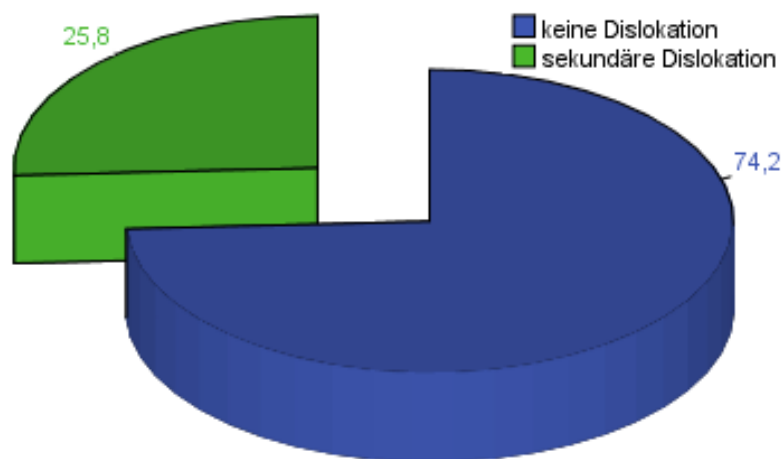


Abbildung 33: Sekundäre Dislokation bei primärer alleiniger Reposition

Die untersuchten Maximalwerte der Dislokation waren mit 78,0% $\leq 10^\circ$ als sehr niedrig anzusetzen (siehe Tabelle 22), was durchaus für den Erfolg der Methode spricht.

Wie entscheidend die bestmögliche Durchführung der ersten Reposition ist, zeigt Tabelle 23. Wurde intraoperativ ein wiederholter Repositionsversuch notwendig oder war keine perfekt anatomische Reposition ($>$ Kortikalisbreite bzw. $>5^\circ$) möglich, so konnte im Gegensatz zu Eingriffen ohne diese „Schwierigkeiten“ eine um 25,3% höhere sekundäre Dislokationsquote ausgemacht werden. Die ermittelte Signifikanz ($p=0,00029$) ist beweisend.

Tabelle 22: Maximale sekundäre Dislokationswerte nach primärer alleiniger Reposition

Anteil in %	Maximalwert der Dislokation in Grad°
78,0	≤ 10
4,9	$>10-\leq 15$
7,2	$>15-\leq 20$
3,1	$>20-\leq 25$
4,0	$>25-\leq 30$
2,7	>30

Tabelle 23: Sekundäre Dislokation bei intraoperativen Schwierigkeiten

		sekundäre Dislokation		Gesamt	
		nein	ja		
Intraoperative Schwierigkeiten	nein	Anzahl	137	31	168
		Anteil	81,5%	18,5%	100,0%
	ja	Anzahl	27	21	48
		Anteil	56,2%	43,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl	164	52	216
		Anteil	75,9%	24,1%	100,0%

Je schlechter folglich das intraoperativ erzielte Ergebnis war, desto größer wurde die Gefahr einer sekundären Dislokation (siehe Tabelle 24). Beim Extremfall der intraoperativen Akzeptanz einer $\frac{1}{2}$ Schaftbreite kam es mit 71,4% zu den meisten Dislokationen. Ein minimal akzeptierter Versatz oder Achsabweichung (mehr als 1 Kortikalisbreite bzw. $>5^\circ$) führte zu 30,8% erneuten Abweichungen, was bedeutet, dass somit jede dritte Fraktur abglitt. Intraoperativ wiederholte Repositionsversuche bei gutem Ergebnis zeigten bereits die Instabilität des Bruches und ein konsekutives Abrutschen von 53,3% war die Folge.

Immerhin konnte bei 77,8% aller Fälle eine perfekte Reposition anhand der Durchleuchtungsbilder überprüft und bestätigt werden. Deren Dislokationsrate war wie bereits geschildert mit 18,5% am geringsten.

Die hier zugrunde gelegte Gesamtzahl von 216 Frakturen ergibt sich nach Abzug von 7 alio loco vorgenommenen Repositionen, von denen keine Operationsberichte vorlagen.

Tabelle 24: Sekundäre Dislokation bei unterschiedlichen intraoperativen Schwierigkeiten

			sekundäre Dislokation		Gesamt
			nein	ja	
zweifacher Repositionsversuch intraoperativ	halbe Schaftbreite wird akzeptiert	Anzahl	2	5	7
		Anteil	28,6%	71,4%	100,0%
	ja (zweifacher Repositionsversuch intraoperativ)	Anzahl	7	8	15
		Anteil	46,7%	53,3%	100,0%
	min. Achsabweichung/Versatz wird akzeptiert	Anzahl	18	8	26
		Anteil	69,2%	30,8%	100,0%
	nein (intraoperativ perfekte Reposition)	Anzahl	137	31	168
		Anteil	81,5%	18,5%	100,0%
Gesamt		Anzahl	164	52	216
		Anteil	75,9%	24,1%	100,0%

3.9.2.3 Nachreposition

In Tabelle 25 werden die Maximalwerte der sekundären Dislokation aufgeführt, die zur Entscheidung einer erneuten Reposition (in 28 Fällen) führten. Diese sind weit gestreut zwischen $\leq 10^\circ$ bzw. minimal 5° bis zu $>30^\circ$ und eine direkte Grenzsetzung, die dieses Vorgehen nicht rechtfertigen würde, konnte darin nicht gesehen werden. Eine altersabhängige Kontraindikation zum zweifachen Repositionsversuch wurde ebenso wenig gestellt. Alle Altersgruppen waren vertreten und die erneute Reposition wurde somit als universeller Therapieansatz angesehen.

Tabelle 25: Maximale sekundäre Dislokationswerte bei zweifacher Reposition

Anteil in %	Maximalwert der Dislokation in Grad°
25,0	≤ 10
7,1	$>10-\leq 15$
Je 17,9	$>15-\leq 20$; $>25-\leq 30$
21,4	$>20-\leq 25$
10,7	>30

3.9.2.4 Primäre Kirschner-Draht-Versorgung

Wenig erstaunlich ist die Tatsache, dass es in Folge einer durchgeführten Kirschnerdrahtosteosynthese bei entsprechend großer, primärer Instabilität des Bruches sekundär kaum zu Achsabweichungen kam.

Bei 92% der so behandelten Kinder wurde eine vernachlässigbare, maximale sekundäre Dislokation von $\leq 10^\circ$ nach Kirschnerdrahtosteosynthese registriert. Nur in einem Fall (prozentual 4%) resultierte eine Verschlechterung des zunächst erzielten Repositions- und Retentionsergebnisses im Sinne einer sekundären Dislokation, die sodann auch tertiär entsprechend korrigiert wurde (siehe Tabelle 26). Ein eventueller Grund wird in der dabei parallelen Einbringung gesehen. Die Fixierung mit Drähten ist also eine weitgehend sichere, aber auch mit insgesamt 25 erfassten Patienten nicht im Regelfall angewandte Therapieoption.

Tabelle 26: Maximale sekundäre Dislokationswerte nach primärer Kirschner-Drahtversorgung

Anteil in %	Maximalwert der Dislokation in Grad°
92	≤ 10
4	$>10-\leq 15$
4 (1 Patient mit paralleler Einbringung und tertiärer Plattenversorgung)	>30

3.10 Endresultate im Therapievergleich

3.10.1 Achsverschiebung nach Abschluss der radiologischen Kontrollen

Anhand der jeweils letzten, zeitlich durchaus verschieden gelegenen Röntgenkontrolle wurde die zu diesem Zeitpunkt noch bestehende Achsverschiebung erfasst. Dabei handelt es sich um die Unterscheidung, ob eine Achsabweichung gemäß einer anatomisch nicht perfekten Position bestand oder nicht. Tabelle 27 gibt das Vorliegen einer Achsabweichung nach Altersgruppen geordnet wieder und lässt mit $p=0,006$ einen signifikanten Zusammenhang beider Variablen erkennen. Die 1-5 Jahre alten Kinder zeigten mit einem Anteil von 63,6% der bis dato feststellbaren Abweichungen den größten Anteil, gefolgt von den 6- bis 11-jährigen mit 48,2% und den 12- bis 18-jährigen mit 38,3%. Je älter also die Kinder, desto weniger wurde ein mögliches schlechtes Langzeitergebnis akzeptiert. Dem höheren Korrekturpotenzial der Jüngsten

wird mit minder häufig ausgeführten sekundären Korrekturen Rechnung getragen. So wurden die insgesamt 56 Patienten der Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen lediglich 9x einer zweiten Reposition und in keinem Fall einer nachträglichen Kirschner-Draht-Fixierung unterzogen.

Tabelle 27: Achsverschiebung bei der letzten Röntgenkontrolle in Abhängigkeit vom Patientenalter

		Komplikationen/Outcome		Gesamt (Ausschluss 11 schwerwiegender Komplikationsfälle)	
		keine	Achs- verschiebung		
Alter	1-5 Jahre	Anzahl	20	35	55
		Anteil	36,4%	63,6%	100,0%
	6-11 Jahre	Anzahl	103	96	199
		Anteil	51,8%	48,2%	100,0%
	12-18 Jahre	Anzahl	79	49	128
		Anteil	61,7%	38,3%	100,0%
Gesamt		Anzahl	202	180	382
		Anteil	52,9%	47,1%	100,0%

3.10.2 Differenzierte Beurteilung der Therapieergebnisse

Alle fünf Therapieoptionen der primären und sekundären Versorgung der dislozierten distalen Radiusfraktur wurden nach den unfallbedingt entstandenen Dislokationsgradzahlen und Seit-zu-Seit-Verschiebungen bewertet. Ein Vergleich mit dem zum Ende der Behandlung angefertigten, letzten Röntgenbild erfolgte vorwiegend anhand der noch vorhandenen Restangulation und ermöglichte die Beurteilung der somit erzielten Resultate. Auch wenn die Grenzsetzung bezüglich der akzeptablen Gradzahlen und Translationen schwierig ist (siehe Tabelle 1), so wurden, orientiert an den gängigsten Literaturangaben [65] [8] [72] [66], folgende altersabhängige Grenzlinien gezogen (Tabelle 28):

Tabelle 28: Altersabhängig festgelegte Korrekturgrenzen

Ebene	Alter in Jahren	Grenzsetzung Achsabweichung in Grad°	Seit-zu-Seit-Verschiebung
frontal/sagittal	<12	≤30	≤1 Schaftbreite
frontal/sagittal	≥12	≤15	≤½ Schaftbreite

Nur die außerhalb dieser Richtlinien gelegenen Werte wurden in den Grafiken separat durch Beschriftung der Fallzahlen hervorgehoben. Ein genereller Rückschluss auf das damit verbundene optisch sichtbare Ausmaß der momentan bestehenden Fehlstellung ist jedoch nicht angezeigt und bedarf vor allem der Betrachtung bzw. Nachuntersuchung der aktuellen klinischen Situation nach eingetretener Remodellierung. Die ästhetische Zufriedenheit in Abhängigkeit von der jeweiligen eingesetzten Therapie erschließt sich aus Tabelle 32.

Außerdem konnten zahlenmäßige Verschiebungen innerhalb der Gradgruppen zu Beginn und am Ende untersucht werden. Stieg also die Zahl der niedrigen Achsabweichungen am Ende und sank die der hohen Gradzahlen aufgrund der Korrekturen entsprechend, so handelt es sich um ein gutes Ergebnis der jeweiligen Therapieform.

3.10.2.1 Rein konservative Behandlung durch Ruhigstellung

Von 104 primär nur mit Schienen bzw. Gipsen oder Casts versorgten Brüchen verblieben 78 (75%) ohne jedes weitere sekundäre Eingreifen. Obgleich insgesamt 51 der 104 Frakturen sekundär dislozierten, wurde nur in 26 Fällen erneut interveniert. Konkret bedeutete dies 23 sekundäre Repositionen und 3 Wechsel der Gipsanlage in die Scheedestellung. Die als absolut konservative Behandlung ohne Reposition bezeichnete Therapie der 78 Kinder zeigt im Vergleich der Anfangs- und Endgrade zwar eine weitgehend altersentsprechend gute Festlegung der primären Indikationsgrenzen (siehe Abbildung 34), aber die Endgrade sind höher als die Anfangswerte und damit hat sich das Ergebnis verschlechtert. 16,7% der Kinder zeigen ein außerhalb der Korrekturgrenzen (Tabelle 28) liegendes Outcome (siehe Abbildung 35), von dem eine restlose Regeneration wohl nicht ohne Weiteres erwartet werden darf. Zudem steigt insgesamt, ohne Beachtung der Altersgruppen, lediglich die ≤10°-Gruppe von 16,7% auf letztlich 28,2%. Gerade die hohen Bereiche ab 20° nehmen hingegen zu und verschlechtern somit das Endergebnis.

Die zum Zeitpunkt des Unfalls diagnostizierte Dislokation ad latus wird hier nicht extra aufgeführt, da lediglich 8 der 78 Patienten (10,3%) eine solche Verschiebung aufwiesen und alle

innerhalb der Grenzsetzung von Tabelle 28 lagen bzw. diese sogar bei Behandlungsende nahezu komplett ausgeglichen werden konnten.

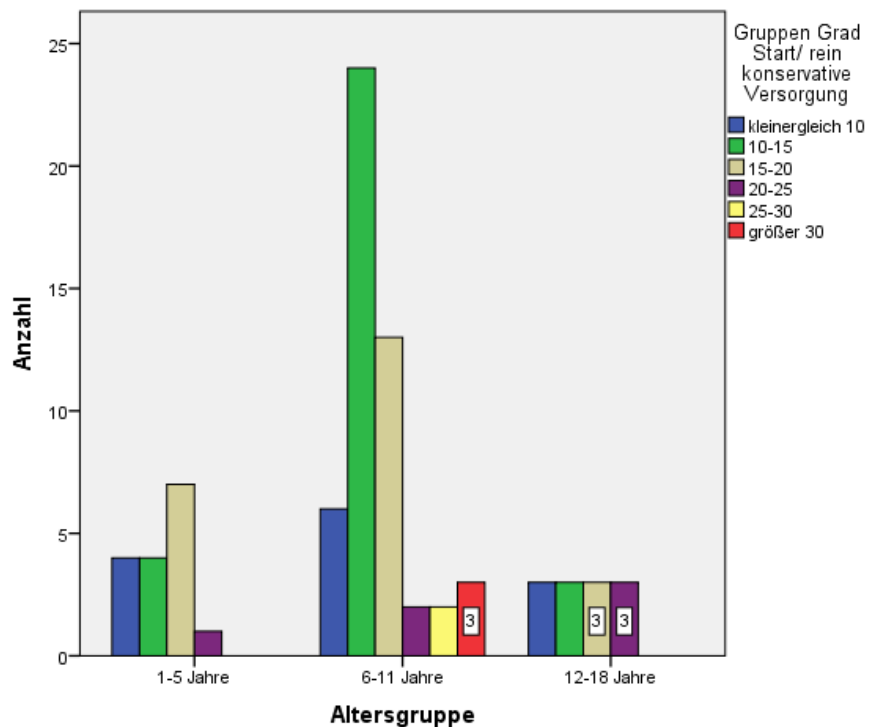


Abbildung 34: Anfangsgrad bei rein konservativer Versorgung in Abhängigkeit vom Alter

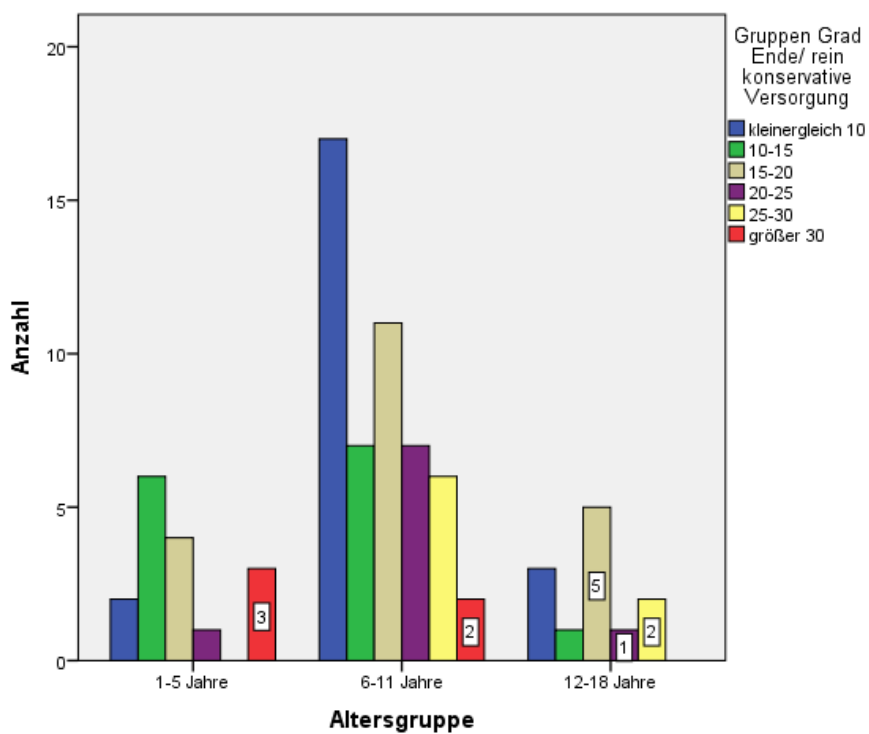


Abbildung 35: Endgrad bei rein konservativer Versorgung in Abhängigkeit vom Alter

3.10.2.2 Primäre alleinige Reposition

Eine primäre Reposition ohne Zweiteingriff kam in 223 Fällen zur Anwendung. Die Indikation wurde bei mindestens 5 Grad gestellt, wobei bei den 6-bis 18-Jährigen in den meisten Fällen eine Dislokation von höchstens 10 Grad vorlag (Abbildung 36). So waren auch die anfänglichen, bei 59,2% der Kinder festgestellten Translationsangaben weit gestreut, wobei die Verteilung nicht wie erwartet niedriger als bei der zweifachen Reposition ausfiel, sondern sich nahezu gleich verteilt darstellte. Eine Rereposition mit primär höheren Verschiebungen oder Achsabweichungen hätte eventuell einen frühzeitigen Hinweis auf die sekundär notwendige zweite Intervention geben können. Am häufigsten fand sich bei Patienten mit primärer alleiniger Reposition bei den 1- bis 5-Jährigen 1 Schaftbreite (50%), in der Altersgruppe von 6-11(41,4%) und den 12- bis 18-Jährigen(44,7%) je eine $\frac{1}{2}$ Schaftbreite (siehe Abbildung 37).

Im direkten Vergleich zu den Endgraden ist die Verschiebung der Gradzahlen in Richtung der kleineren Angaben offensichtlich (siehe Abbildung 38). 215 der 223 Brüche liegen in den Korrekturgrenzen, nur 8 (3,6%) außerhalb. Das bedeutet eine 96,4%ige Erfolgsaussicht bei zu erwartendem Remodeling-Potenzial.

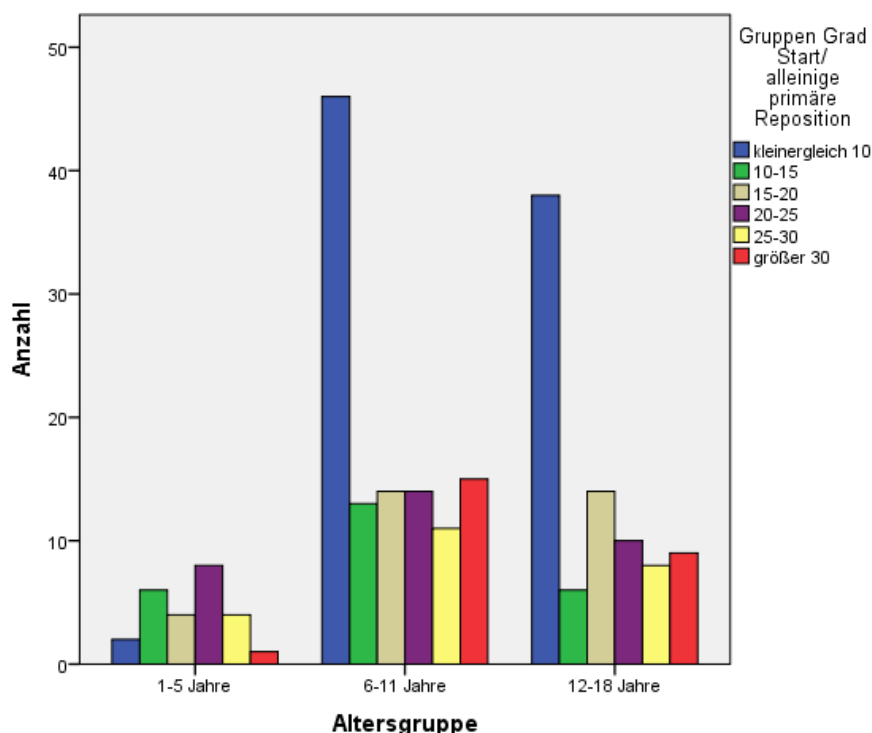


Abbildung 36: Anfangsgrad bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter

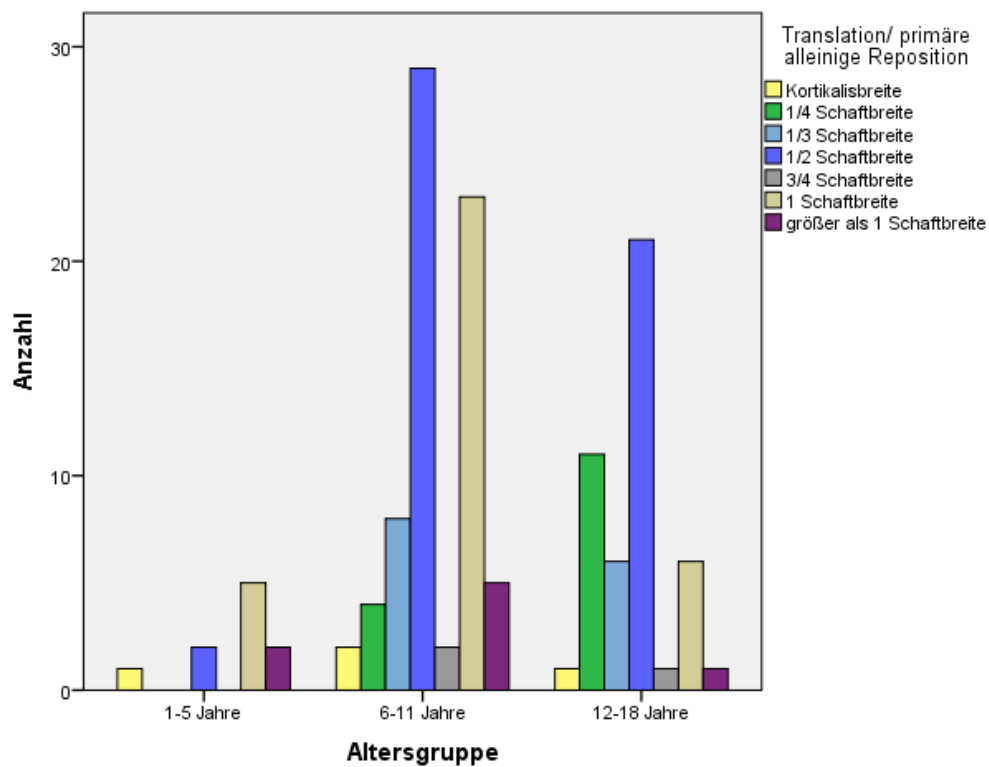


Abbildung 37: Anfangstranslation bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter

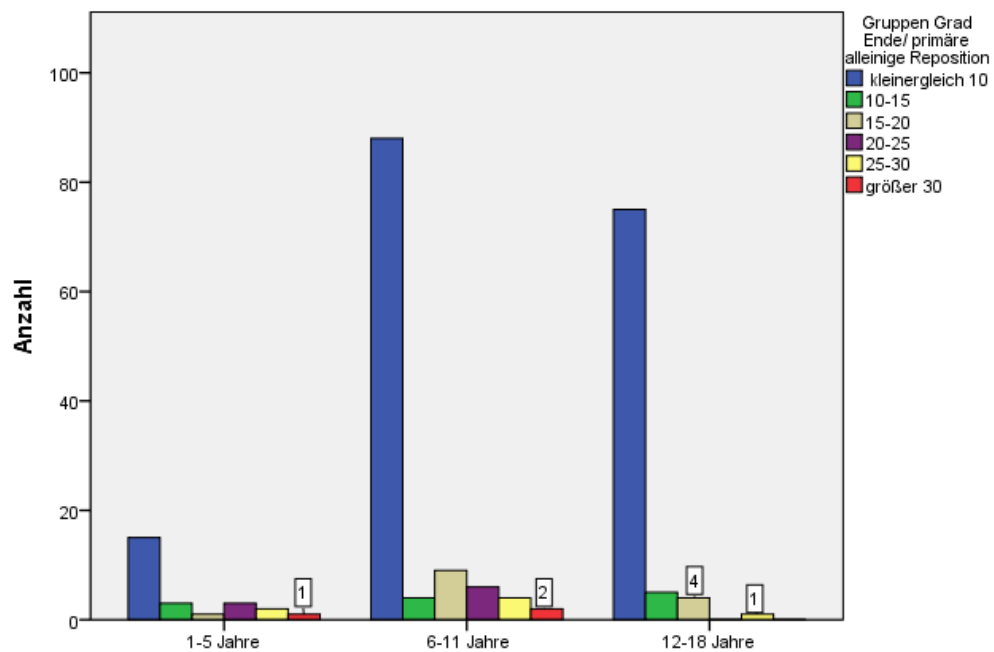


Abbildung 38: Endgrad bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter

3.10.2.3 Re-reposition

Bei 7,1% aller 393 in der Studie betrachteten Frakturen wurde eine zweifache Reposition ausgeführt. Anfangsgrade (Abbildung 39) und primäre Translationen (bei 67,9% der Fälle; Abbildung 40) waren, wie bereits in 3.10.2.2 ausgeführt, nahezu gleich verteilt wie bei der primären einfachen Reposition. Ein späteres Abweichen ist so per se auch im Nachhinein nicht erklärbar. Einzig eine genügend hohe Frequenz an radiologischen Kontrollen unter Beachtung des Strahlenschutzes vermag demnach, die sekundäre Dislokation rechtzeitig anzuzeigen. Während 25% der wiederholt eingerichteten Frakturen im letzten Röntgenbild keinerlei sichtbare Achsabweichung aufwiesen, waren 75% radiologisch verifizierbar in Fehlstellung weitestgehend konsolidiert. Die Analyse der Endgrade zeigt ein ähnlich gutes Ergebnis wie die einmalige Reposition. Jedoch verschoben sich nicht nur die Gradzahlen in Richtung der niedrigeren Werte, sondern auch primär vorhandene Achsabweichungen $>30^\circ$ konnten gänzlich beseitigt werden (siehe Abbildung 41). Hier lagen nur 3 Kinder außerhalb der geforderten Korrekturgrenzen, die jedoch aufgrund der geringeren Gesamtzahl mit 10,7% etwas stärker ins Gewicht fallen. Somit ergibt sich ein nur um 7,1% geringfügig schlechteres Outcome (im Gegensatz zur einfachen Reposition) mit einer 89,3%igen Erfolgsaussicht auf folgenlose anatomisch korrekte Ausheilung.

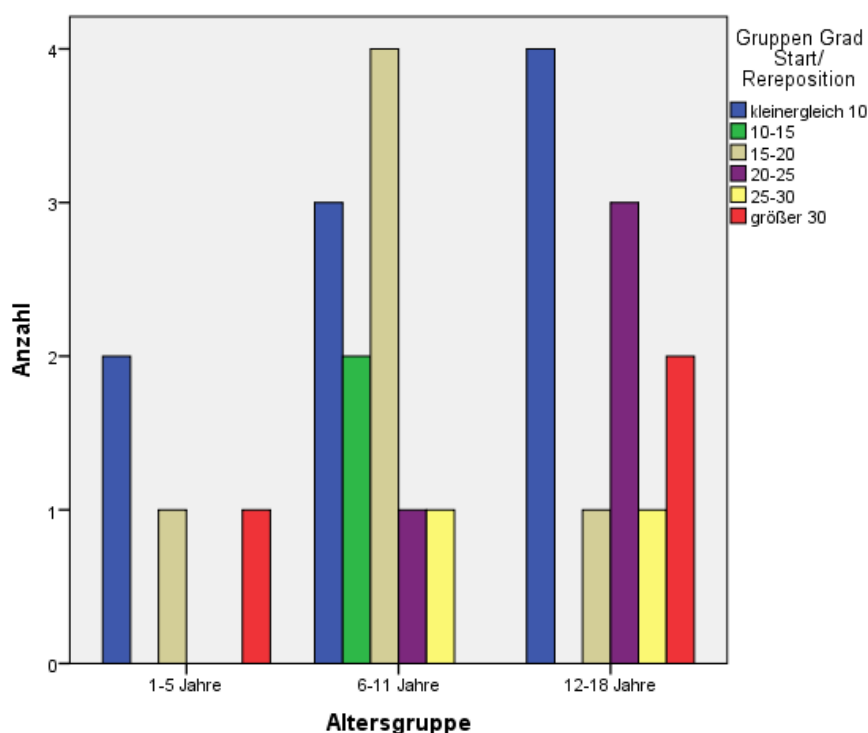


Abbildung 39: Anfangsgrad bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter

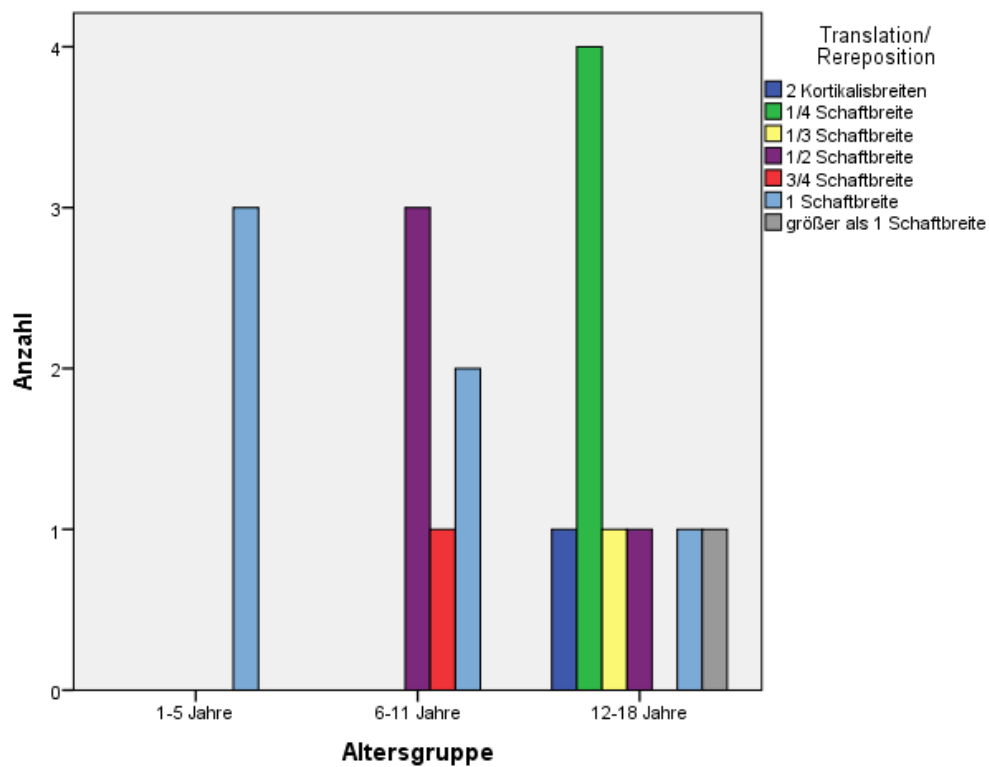


Abbildung 40: Anfangstranslation bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter

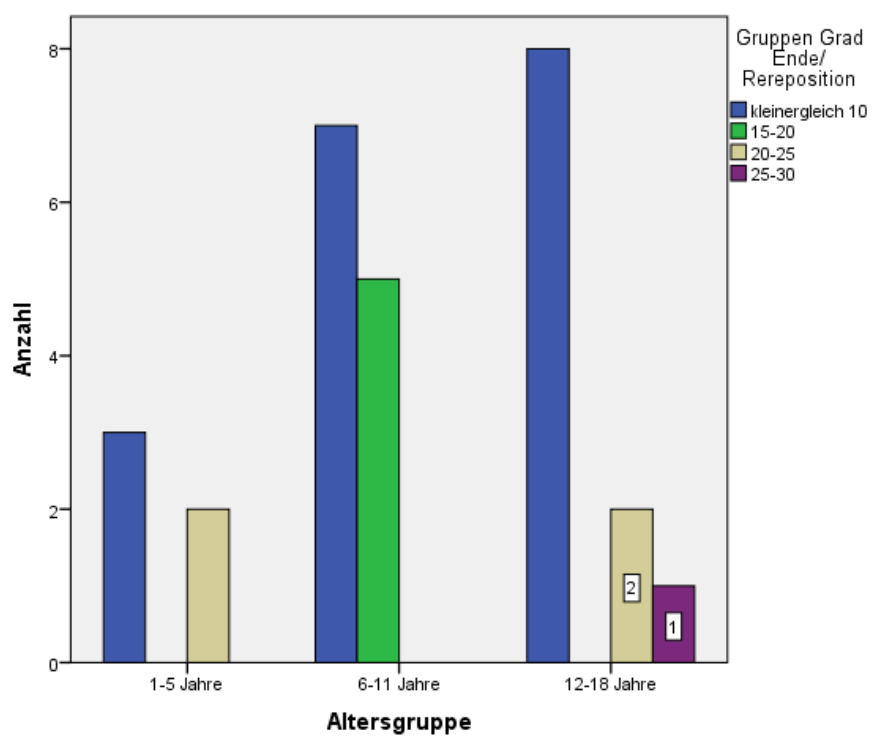


Abbildung 41: Endgrad bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter

3.10.2.4 Primäre Kirschner-Draht-Versorgung

Die Tatsache, dass bei insgesamt 25 primären Kirschnerdrahtosteosynthesen (6,5% aller Kinder) keine sekundäre Versorgung benötigt wurde, überrascht kaum. Die wenigen, metallbezogenen Komplikationen werden zudem im Kapitel Allgemeine Komplikationen 3.11 gesondert dargestellt. Diese Methode wird gerade bei den jüngeren Kindern zurückhaltend eingesetzt, da diese im Regelfall noch sehr viel ausgleichendes Wachstum vor sich haben. So kam bei den insgesamt 56 Patienten im Alter von 1 bis 5 Jahren nur fünfmal primär eine Drahtversorgung zur Anwendung. Generell entsteht beim Blick auf die Anfangsgrade (Abbildung 42) und Translationen (bei 64,0% der Fälle; Abbildung 43), die zur Wahl der primären Kirschner-Draht-Versorgung führten, der Eindruck, dass diejenigen kleiner oder gleich 10° eher auf eine in diesem Zusammenhang große Translation zurückzuführen sind.

Zusammengefasst mag der Einsatz erst bei den über 6-Jährigen ab mehr als 20° oder bei einer $\frac{1}{2}$ Schaftbreite als unterste Grenzsetzung gerechtfertigt erscheinen. Die sehr guten Endergebnisse (siehe Abbildung 44) ließen sich mit einer 100%igen Erfolgsaussicht beschreiben, da kein Fall mehr außerhalb der gewünschten Grenzen laut Tabelle 28 lag. Auch waren Werte $>25^\circ$ - $\leq 30^\circ$ bzw. $>30^\circ$ altersunabhängig nicht mehr vorhanden und Translationen konnten komplett behoben werden. Entscheidend ist jedoch, dass 92% aller Endgrade $\leq 10^\circ$ betrugen. Bei der primären alleinigen Reposition war dies bei 79,8% der Fälle zutreffend. Fraglich ist, ob die Differenz von 12,2% zwischen beiden primären Versorgungsarten - bei zu erwartendem Remodeling - wirklich die meist anatomisch perfekte Stabilisierung mit osteosynthetischem Material rechtfertigt. Inwiefern sich die Wahl der einfachen Reposition anstatt der Verdrahtung in diesen Fällen ausgewirkt hätte, lässt sich aber aufgrund des retrospektiven Studiendesigns nicht eruieren.

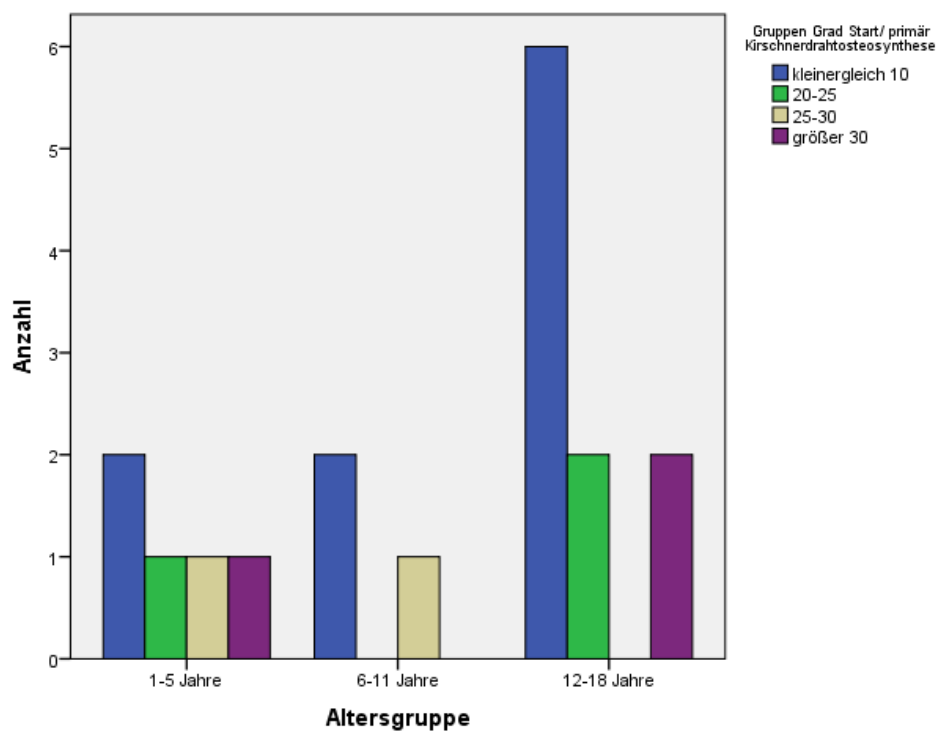


Abbildung 42: Anfangsgrad bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter

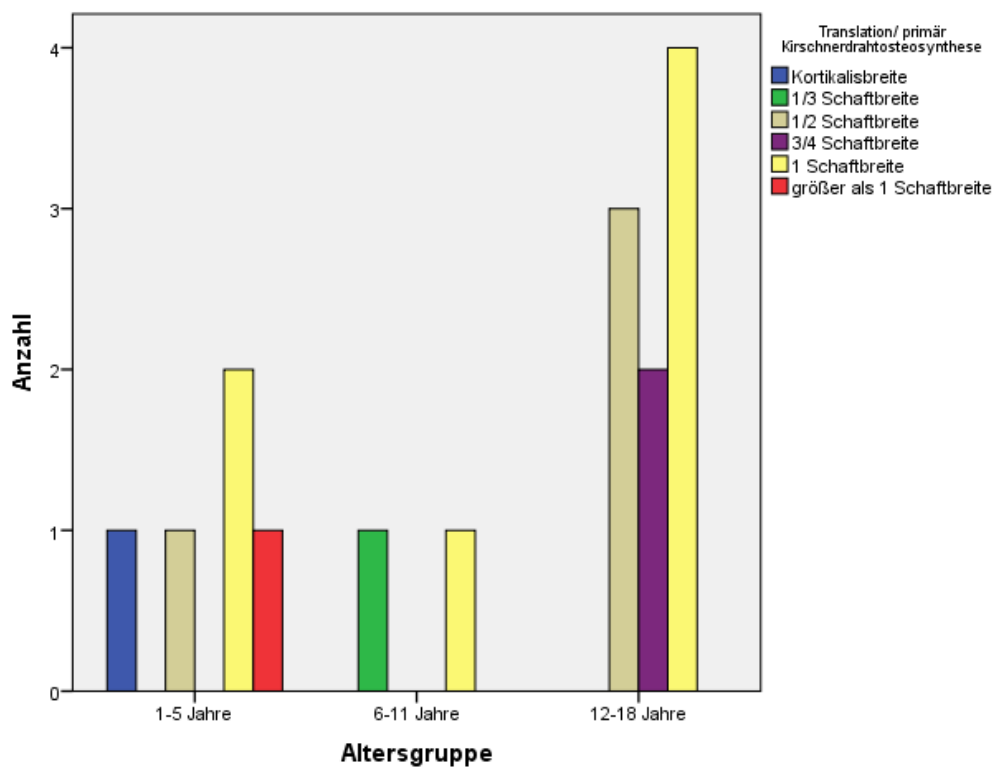


Abbildung 43: Anfangstranslation bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter

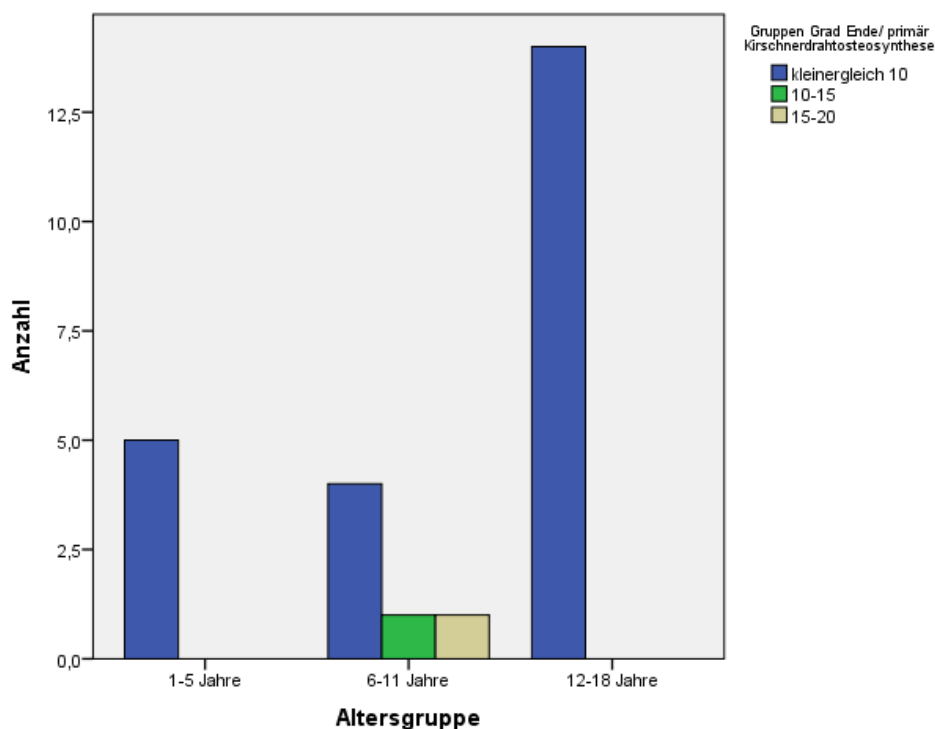


Abbildung 44: Endgrad bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter

3.10.2.5 Sekundäre Kirschner-Draht-Versorgung

Eine sekundäre Kirschnerdrahtosteosynthese nach vorangegangener, nicht zufriedenstellender Reposition erfolgte in nur 12 Fällen. Das sind folglich 3,1% der 393 Kinder. In der letzten radiologischen Kontrolle zeigten sich 41,7% als perfektes Ergebnis, in 50% der Fälle blieb jedoch eine sichtbare Achsverschiebung bestehen. Grund hierfür ist zumeist der Verzicht auf die offene Einbringung der Drähte zugunsten der schonenderen geschlossenen Methode. Die Endgrade betrugen bis auf einen Fall immer $\leq 10^\circ$. Zu bedenken bleibt aber trotz der natürlich am Ende sicheren Stabilisierung der wiederholte Eingriff und die damit verbundenen Risiken.

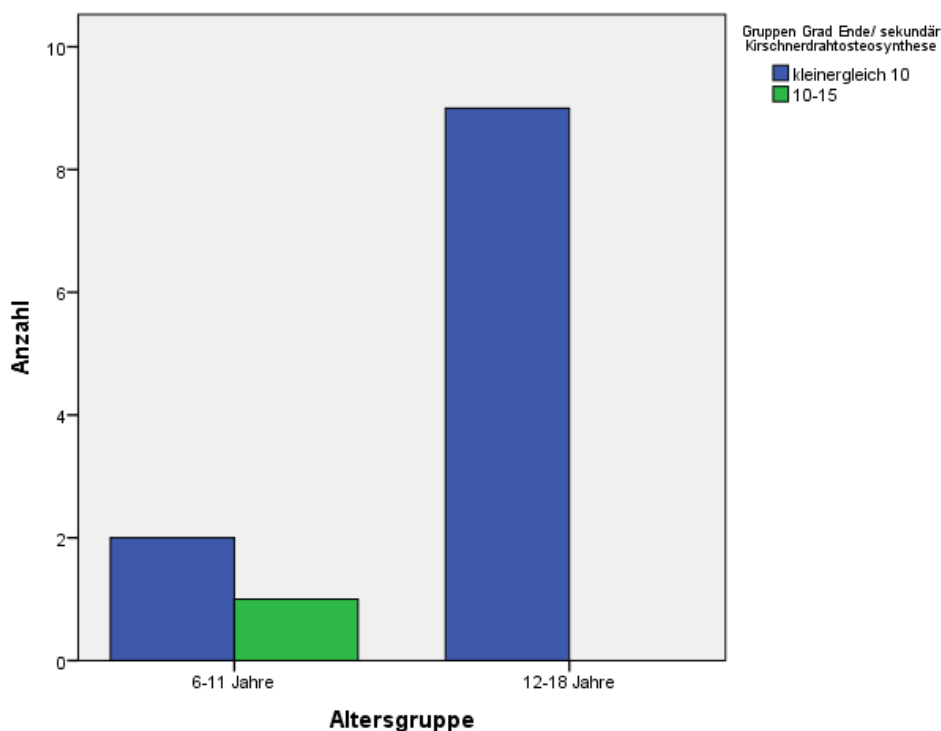


Abbildung 45: Endgrad bei sekundärer Kirschnerdrahtosteosynthese nach primärer Reposition in Abhängigkeit vom Alter

3.11 Allgemeine Komplikationen

Da bereits auf die radiologisch nachgewiesene Achsverschiebung am Ende der Kontrollen eingegangen wurde, sollen hier alle zusätzlich möglichen Komplikationen zunächst unabhängig von Alter oder Therapieform aufgeführt werden. Addiert man alle in Abbildung 46 mit beiger Farbe markierten schwerwiegenden und eventuell mit Folgeschäden verbundenen Komplikationen, so ergibt sich eine prozentuale Summe von 3,3%. Die reversible Inaktivitätsosteopenie, bedingt durch eine länger dauernde Immobilisierung und konsekutive Abnahme der Knochendichte, wurde jedoch als häufiges Phänomen in insgesamt 21,9% aller 393 Fälle beobachtet. Somit war hiervon jeder 4.- 5. Patient in unterschiedlichem Ausmaß betroffen. Ein verstärktes Auftreten bestimmter Widrigkeiten in Zusammenhang mit konkreten Therapieformen konnte nicht nachgewiesen werden. Indessen bestätigt die Assoziation zu den Altersgruppen (siehe Tabelle 29) die These, dass vermehrt ältere Kinder von ernsthaften - wenn auch seltenen - Komplikationen wie Wachstumsstörungen betroffen sein können. So waren 7 dieser unerwünschten, gravierenden Folgen in der Gruppe der 12- bis 18-Jährigen zu finden, nur 3 bei den 6-11 Jahre alten Kinder und nur 1 bei den Jüngsten mit 1-5 Jahren.

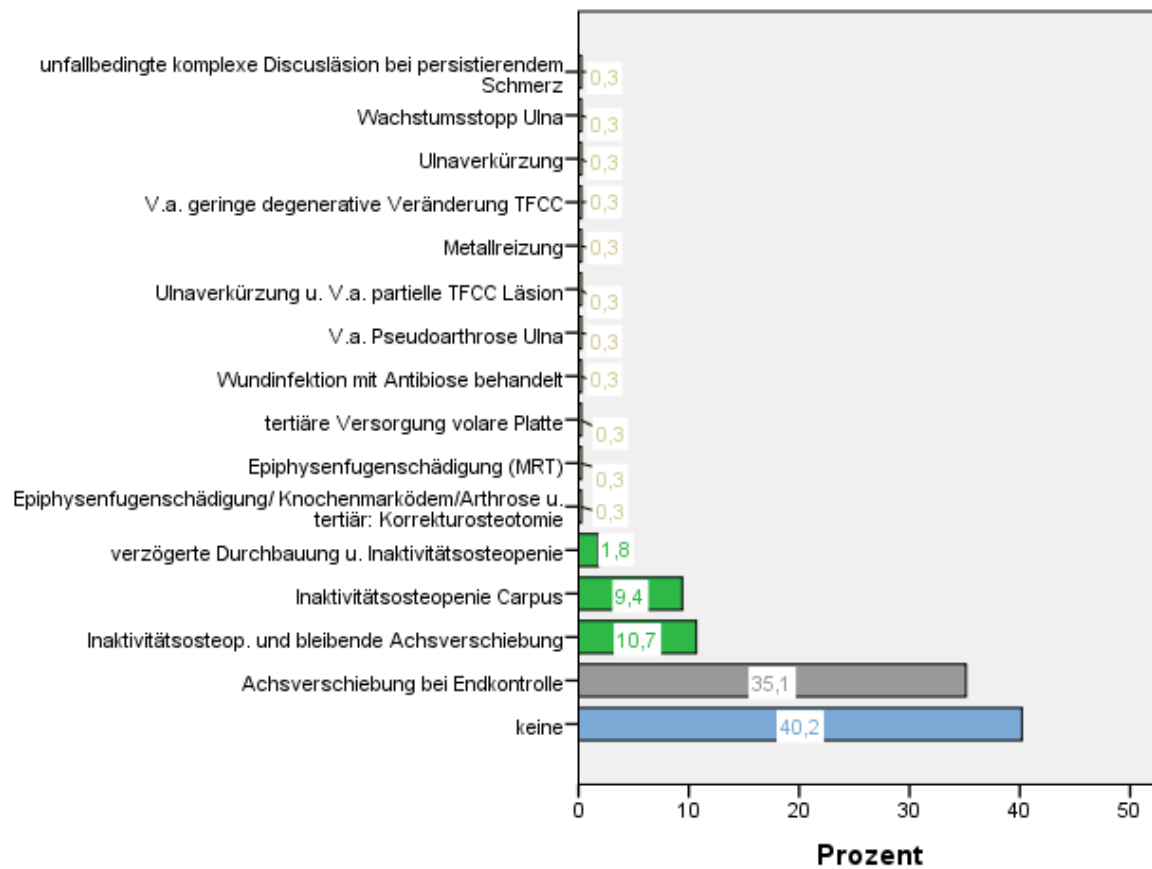


Abbildung 46: Allgemeine Komplikationen

Tabelle 29: Komplikationen in Abhängigkeit vom Alter

			Komplikationen/Outcome			Gesamt
			keine	bleibende Achsverschiebung	schwerwiegende Komplikationen (beige markiert in Abbildung 44)	
Alter	1-5 Jahre	Anzahl	20	35	1	56
		Anteil	35,7%	62,5%	1,8%	100,0%
	6-11 Jahre	Anzahl	103	96	3	202
		Anteil	51,0%	47,5%	1,5%	100,0%
	12-18 Jahre	Anzahl	79	49	7	135
		Anteil	58,5%	36,3%	5,2%	100,0%

3.12 Der Fragebogen

3.12.1 Allgemeine Angaben

Von 381 versandten Fragebögen wurden 109 beantwortet, was einem Rücklauf von 28,6% entspricht. Demgegenüber stehen 16,3% als unbekannt verzogen gemeldete Patienten und 55,1% nicht beantwortete Briefe (siehe Abbildung 47). Dabei war etwas mehr als die Hälfte von den Kindern selbst (50,9%) und der übrige Teil mit 49,1% von den Eltern ausgefüllt worden, wobei diese Verteilung nicht zwangsläufig mit dem Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Befragung korrelierte. Um einen Zusammenhang zwischen frakturierterem Unterarm und der im Alltag dominanten Hand herzustellen, wurden zudem die Angaben zur Händigkeit untersucht (siehe Tabelle 30). Da bei 17 Kindern – vermutlich aufgrund des jungen Alters - noch keine Aussage zu Rechts- oder Linkshändigkeit gemacht werden konnte, verblieben 92 diesbezüglich gültige Fälle. Linkshänder, von denen durch die Befragung nur 7 erfasst wurden, brachen sich zu 71,4% den linken Arm. Die insgesamt 85 Rechtshänder (92,4%) brachen sich hingegen zu 10,6% mehr den linken als den dominierenden rechten distalen Unterarm. Eine Abhängigkeit zwischen beiden Variablen konnte letztlich anhand dessen nicht erkannt werden.

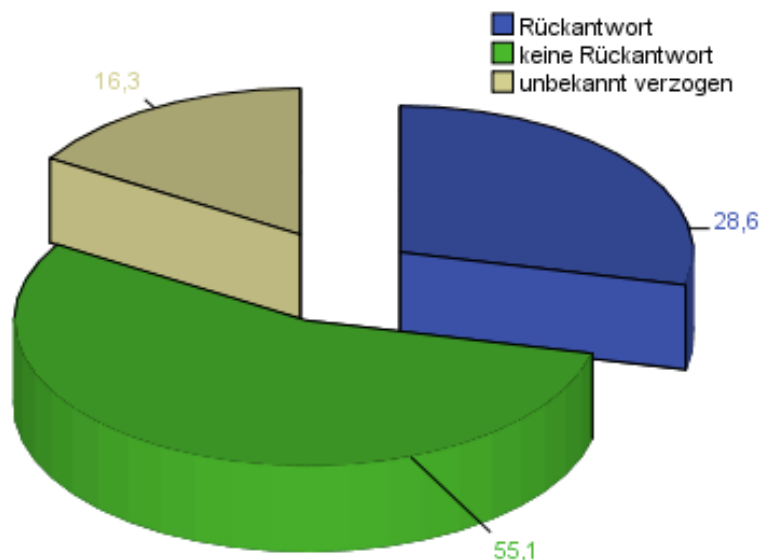


Abbildung 47: Rücklauf der Fragebögen

Tabelle 30: Händigkeit und frakturierter Unterarm

			gebrochener Arm		Gesamt
			links	rechts	
dominante Hand	Linkshänder	Anzahl	5	2	7
		Anteil	71,4%	28,6%	100,0%
	Rechtshänder	Anzahl	47	38	85
		Anteil	55,3%	44,7%	100,0%
Gesamt		Anzahl	52	40	92
		Anteil	56,5%	43,5%	100,0%

Das immer wieder diskutierte Risiko für spätere Refrakturen an gleicher Stelle nach verheilten distaler Radiusfraktur kann mit 5,5% innerhalb der ersten 3,0 Jahre nach dem Unfallgeschehen als äußerst niedrig beurteilt werden. Laut persönlichen Angaben sei es bei 6 Patienten zu einem erneuten Bruch dieser Art gekommen, der sodann in einer anderen Klinik behandelt worden war. Das zum Unfallgeschehen aktuelle Gewicht war bei 23,2% aller 393 Fälle ermittelbar und beruhte allein auf Angaben der Patienten bzw. deren Eltern. Anhand des Alters und Geschlechts fand eine Einteilung des Gewichts nach anerkannten Normwertgrenzen [148] statt. Wenn auch 36,3% als normalgewichtig eingestuft werden konnten, so war die Gruppe der leicht Übergewichtigen mit 34,1% fast gleich hoch anzusetzen. Zusammenfassend waren sogar 60,5% aller Kinder in verschiedenen Abstufungen übergewichtig und damit außerhalb der Norm gelegen. Eine Entwicklung, die die Vermutung einer Wechselbeziehung zwischen erhöhtem Gewicht und vermehrtem Auftreten der distalen Radiusfraktur andeutet, respektive nahelegt. Eine Darstellung der exakten Untergruppen inklusive einer kleinen Menge (3,3%) an leicht untergewichtigen Kindern findet sich in Abbildung 48. Festzuhalten bleibt, dass das Übergewicht eine bedeutende Rolle beim Auftreten der Fraktur spielt. Weitere Studien mit überprüfbaren Gewichtsdaten und einer größeren Fallzahl unter Einbeziehung der Körpergröße sind empfehlenswert.

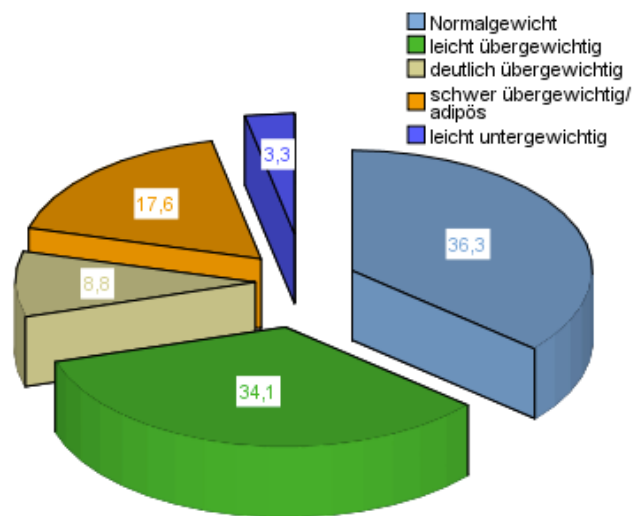


Abbildung 48: Anteil der über-, unter- und normalgewichtigen Kinder und Jugendlichen

3.12.2 Die subjektive Zufriedenheit mit Funktion und Ästhetik im Therapievergleich

In 97 der 109 Fragebögen fand der DASH-Score Anwendung. Lediglich bei 26 Fällen war dieser aufgrund ungenügender Angaben nicht auswertbar. Damit verblieben 83 berechenbare DASH-Scores, die im Mittel einen Wert von 6,89 erzielten. Dies spricht nicht nur für eine hohe Gesamtzufriedenheit bezüglich der Funktion unabhängig von der jeweiligen Behandlungsart, sondern steht zugleich, bei Betrachtung der einzelnen Mittelwerte und den entsprechenden Zufriedenheitsstufen (Tabelle 31), für den Score an sich als ein adäquates Instrument zur Outcome-Analyse. So zeigten sich zusammengefasst 86,7% der Patienten als funktionell sehr zufrieden bei einem niedrigen Score-Punktwert von 6,63. Ein Blick auf die hohe Standardabweichung von 16,853 bei den als sehr zufrieden eingeschätzten Kindern verrät aber darüber hinaus, dass auch gelegentlich die Angabe der subjektiv sehr großen Zufriedenheit trotz hohem Punktwert gemacht wurde.

Der DASH-Score selbst basiert auf einem Punktesystem, bei dem 0 Punkte keinerlei Einbußen widerspiegeln und 100 Punkte als eine maximale Behinderung in verschiedenen alltäglichen Situationen zu verstehen sind.

Auch wenn angesichts der niedrigen Fallzahlen keine Abhängigkeit zwischen den Behandlungsarten und der subjektiven Zufriedenheit bezüglich Funktion bzw. Ästhetik nachgewiesen werden konnte, so zeigen die Zahlen ein deutliches Ergebnis.

Tabelle 31: Zusammenhang des DASH-Scores und der Angabe der funktionellen Zufriedenheit

Zufriedenheit mit Funktion des Behandlungsergebnisses	Mittelwert DASH-Score	N	Standardabweichung
überhaupt nicht zufrieden	9,75	4	6,752
mäßig zufrieden	8,00	7	2,769
sehr zufrieden	6,63	72	16,853
Insgesamt	6,89	83	15,770

Mit der Ästhetik waren demnach 87,9% bei alleiniger Reposition sehr zufrieden, bei zweifacher Reposition sogar eine absolute Mehrheit von 91,7%. Vermutlich aufgrund der zurückbleibenden Narben, die selbst im Rahmen einer geschlossenen bzw. halboffenen Einbringung der Kirschner-Drähte entstehen, empfanden nur 50,0% das damit erzielte Ergebnis als optisch sehr ansprechend. Im Gegensatz zur einmaligen Reposition sind dies 37,9% weniger (siehe Tabelle 32). Die rein konservative Versorgung durch Gipsschienung sei nur am Rande erwähnt. Deren hohe ästhetische Zufriedenstellung (80,0%) ist vermutlich vorwiegend dem guten Remodeling-Potential zu schulden.

Tabelle 32: Zusammenhang zwischen ästhetischer Zufriedenheit und Therapieart

		Zufriedenheit mit Ästhetik des Behandlungsergebnisses			Gesamt
		überhaupt nicht zufrieden	mäßig zufrieden	sehr zufrieden	
Behandlungsart	alleinige Reposition	Anzahl 1	7	58	66
		Anteil 1,5%	10,6%	87,9%	100,0%
	Rereposition	Anzahl 0	1	11	12
		Anteil 0,0%	8,3%	91,7%	100,0%
	primärer K-Draht	Anzahl 1	5	6	12
		Anteil 8,3%	41,7%	50,0%	100,0%
	rein konservativ	Anzahl 0	3	12	15
		Anteil 0,0%	20,0%	80,0%	100,0%

Nahezu gleich verhält es sich mit der funktionellen Zufriedenheit im Hinblick auf die verschiedenen Therapieoptionen. 87,9% der einer einmaligen Reposition unterzogenen Kinder gaben an, sehr zufrieden mit der erzielten Funktion zu sein. Dem entsprachen 91,7% bei zweifacher Reposition, 92,9% bei rein konservativer Schienung und sogar 83,3% bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese. Nur 4,6% waren also mehr zufrieden mit der alleinigen Reposition

als mit der primären Verdrahtung. Funktionell steht aber demzufolge die Reposition dem Draht auch keinesfalls nach (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Zusammenhang zwischen funktioneller Zufriedenheit und Therapieart

		Zufriedenheit mit Funktion des Behandlungsergebnisses			Gesamt
		überhaupt nicht zufrieden	mäßig zufrieden	sehr zufrieden	
alleinige Reposition	Anzahl	3	5	58	66
	Anteil	4,5%	7,6%	87,9%	100,0%
Rereposition	Anzahl	0	1	11	12
	Anteil	0,0%	8,3%	91,7%	100,0%
primärer K-Draht	Anzahl	1	1	10	12
	Anteil	8,3%	8,3%	83,3%	100,0%
rein konservativ	Anzahl	0	1	13	14
	Anteil	0,0%	7,1%	92,9%	100,0%

Die zweifache Reposition kann folglich als sehr zuverlässige Methode bezüglich der subjektiv empfundenen Ästhetik und dem funktionellen Ergebnis gesehen werden, auch wenn dies nur anhand von 12 Fällen nachvollzogen werden konnte. Verlierer, vor allem bezüglich der Ästhetik, bleibt jedoch der Draht gegenüber der alleinigen Reposition.

3.12.3 Auswertung des DASH-Scores und des alternativen Fragebogens im Therapievergleich

Auf Basis der Grenzsetzung des 8. Lebensjahres, ab der der DASH-Score ausgefüllt werden sollte, kam dieser in 89,0% der Fragebögen zum Einsatz. Nur 12x wurde demnach der alternative Bogen für jüngere Patienten gewählt. Beide hatten sich - wie bereits in Kapitel 3.12.2 geschildert - als praktikabel erwiesen. 85,6% der auf den Score bezogenen Fragen wurden korrekt und damit für die Berechnung ausreichend beantwortet.

Die Analyse der Höhe des DASH-Scores abhängig von der jeweiligen Therapieform (siehe Tabelle 34) stellte mit im Mittel 2,00 Punkten die sekundäre Kirschner-Draht-Versorgung als niedrigsten und damit besten Punktwert bei kleiner Standardabweichung dar. Auch ein zweites Eingreifen im Sinne einer Rereposition schien eine gute Alternative zur primären Kirschnerdrahtosteosynthese zu sein. Das Outcome beider ist im Mittel gesehen nahezu gleich, wobei die Rereposition nur um 0,68 Punkte höher liegt als die primäre Drahtsetzung. Einziger Kritikpunkt ist hierbei die höhere Standardabweichung der zweifachen Reposition. Die primäre Kirschner-Draht-Einbringung ist zudem ähnlich der primären alleinigen Reposition, die nur eine Differenz von 1,95 Punkten

aufweist. Die Reposition steht also im Endergebnis der Funktionalität der Drahtversorgung laut DASH-Score kaum nach.

Als Verlierer erscheint im Zusammenhang mit der Score-Bewertung die rein konservative Versorgung allein durch Schienung. Diese trägt mit Abstand den höchsten Wert (10,43) aber auch die größte Standardabweichung. Das bedeutet, dass der Mittelwert zwar schlecht ist, aber auch eine Abweichung nach unten in Richtung eines kleineren Scores möglich ist. Es bleibt aber, wie bereits mehrfach dargestellt, eine unsichere, wenn alleinig ausgeführte, Therapieoption.

Tabelle 34: Zusammenhang zwischen DASH-Score und Therapieart

Behandlungsart	Mittelwert DASH-Score	N	Standardabweichung
sekundärer K-Draht	2,00	3	3,464
primärer K-Draht	5,22	9	7,710
Rereposition	5,90	10	13,379
alleinige Reposition	7,17	54	16,524
rein konservativ	10,43	7	24,542
Insgesamt	6,89	83	15,770

Die Bewertung des alternativen Fragebogens ergab in Abhängigkeit von der gewählten Behandlungsart ein völlig beschwerdefreies Bild (siehe Tabelle 35), mit Ausnahme der einmaligen Angabe leichter Einschränkungen im Zuge einer rein konservativen Therapie ohne weitere Interventionen.

Tabelle 35: Zusammenhang zwischen alternativen Fragebogen und Therapieart

		Auswertung alternativer Fragebogen		Gesamt
		völlig beschwerdefrei	leichte Einschränkung	
Behandlungsart	sekundärer K-Draht	Anzahl: 1	0	1
		Anteil: 100,0%	0,0%	100,0%
	alleinige Reposition	Anzahl: 3	0	3
		Anteil: 100,0%	0,0%	100,0%
	primärer K-Draht	Anzahl: 3	0	3
		Anteil: 100,0%	0,0%	100,0%
	rein konservativ	Anzahl: 4	1	5
		Anteil: 80,0%	20,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl: 11	1	12
		Anteil: 91,7%	8,3%	100,0%

3.12.4 Armumfangsmessungen

Ausgehend von einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 2,961 Jahren und einer Standardabweichung von 1,9616 Jahren, die durch die Befragung erzielt wurden, wurden bei allen Behandlungsoptionen minimale Deformitäten des distalen Unterarms festgestellt (siehe Tabelle 36).

75,0% aller Hand- und Armzeichnungen konnten jedoch im Seitenvergleich als komplett unauffällig gewertet werden. Trotz zweier Deformitäten mehr auf Seiten der alleinigen Reposition als bei der primären Drahtversorgung war die Ästhetik laut Patientenangaben bei der alleinigen Reposition subjektiv überzeugender. Die zweifache Reposition mit lediglich zwei Umfangsveränderungen und einer Deformität schnitt im Gesamtvergleich neben der sekundären Verdrahtung am Besten ab.

Die Aussagekraft dieser Messungen ist natürlich sehr abhängig von der Mitarbeit der Patienten, bietet aber einen ersten ferndiagnostischen Eindruck und animierte die Kinder bzw. deren Eltern, eventuell störende Abnormitäten explizit anzugeben.

Tabelle 36: Armumfangsveränderungen und Deformitäten im Therapievergleich

			Armumfangsveränderung/Deformitäten				Gesamt
			keine	leicht	Verkleinerung	Vergrößerung	
Behandlung	alleinige Reposition	Anzahl	43	4	3	4	54
		Anteil	79,6%	7,4%	5,6%	7,4%	100,0%
	Rereposition	Anzahl	7	1	0	2	10
		Anteil	70,0%	10,0%	0,0%	20,0%	100,0%
	primärer K-Draht	Anzahl	5	2	2	1	10
		Anteil	50,0%	20,0%	20,0%	10,0%	100,0%
	sekundärer K-Draht	Anzahl	3	0	0	0	3
		Anteil	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	rein konservativ	Anzahl	8	3	0	0	11
		Anteil	72,7%	27,3%	0,0%	0,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl		66	10	5	7	88
	Anteil		75,0%	11,4%	5,7%	8,0%	100,0%

3.12.5 Schmerz - Steifheitsgefühl - Kribbeln im Therapievergleich

Auch die Angabe genereller Schmerzen zum Zeitpunkt der Befragung unabhängig von bestimmten Tätigkeiten, ein bestehendes Steifheitsgefühl oder etwaiges Kribbeln im distalen Unterarm wurden separat anhand der Fragestellung innerhalb des DASH-Scores ermittelt und in Relation zur damals erhaltenen Therapieform analysiert.

So gaben 22,8% der Kinder mit nur einmalig reponierten, distalen Radiusfrakturen allgemeine Schmerzen an und mussten damit zunächst als die prozentual gesehen größte Behandlungsgruppe mit Schmerzen eruiert werden. Die Tatsache, dass dieses Schmerzempfinden jedoch in Abstufungen von leicht bis mäßig und stark unterschieden wurde und dabei letztlich nur 5,3% starke Schmerzen, jedoch mehr als die Hälfte leichte Schmerzen angab, korrigiert das zunächst sehr negative Bild (siehe Tabelle 37). Ebenso war in der Gruppe der Rerepositionen nur eine Angabe starker Schmerzen vertreten, wohingegen sowohl bei der primären Kirschnerdrahtosteosynthese als auch bei der rein konservativen Schienung nur je ein einzelner Patient überhaupt Schmerzen äußerte, die dann aber als sehr stark eingeordnet werden mussten. Ein Steifheitsgefühl kam zumeist bei der Drahtversorgung zur Angabe. Gegen 55,6% der primär mit Kirschner-Drähten versorgten ohne Steifheitsempfinden standen 93,1% der einmalig reponierten Patienten ohne jegliche derartige Missempfindungen.

Das Kribbeln in Unterarm und Hand war mit 22,2% am häufigsten bei den primären Drahtversorgungen zu finden. Das bedeutet im Therapievergleich 7,9% mehr als bei der primären alleinigen Reposition (14,3%) bzw. 12,2% mehr als bei der zweifachen Reposition (10,0%).

Tabelle 37: Zusammenhang zwischen Schmerzempfinden und Therapieart

			generelle Schmerzen laut Fragebogen				
			keine	leicht	mäßig	stark	Gesamt
Behandlung	alleinige Reposition	Anzahl	44	7	3	3	57
		Anteil	77,2%	12,3%	5,3%	5,3%	100,0%
	Rereposition	Anzahl	8	1	0	1	10
		Anteil	80,0%	10,0%	0,0%	10,0%	100,0%
	primärer K-Draht	Anzahl	8	0	0	1	9
		Anteil	88,9%	0,0%	0,0%	11,1%	100,0%
	sekundärer K-Draht	Anzahl	3	0	0	0	3
		Anteil	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
rein konservativ	Anzahl	7	0	0	1	8	
	Anteil	87,5%	0,0%	0,0%	12,5%	100,0%	
Gesamt		Anzahl	70	8	3	6	87
		Anteil	80,5%	9,2%	3,4%	6,9%	100,0%

3.12.6 Durchblutung, Sensibilität und Motorik im Therapievergleich

Abschließend soll ein Überblick über Sensibilität, Motorik und Durchblutungssituation am Ende der klinischen Nachuntersuchungszeit gegeben werden.

So konnten im Bezug auf Sensibilitätsstörungen nur einzelne Beschwerden mit einer absoluten Häufigkeit von 14 Fällen (4,2%) bei insgesamt 341 Patienten erfasst werden. Keine dieser Störungen, zu denen dauerhafte Belastungsschmerzen (2x), Hypästhesien einzelner Finger (4x), Parästhesien (2x), Reizzustände der Ligamente (1x), stechende Schmerzen im Bereich der Tabatière (1x) und zunehmende Schmerzen innerhalb der folgenden 1-4 Jahre gezählt wurden (4x), war im Rahmen der Rereposition oder sekundären Drahtversorgung zu finden. Ein möglicher Grund hierfür liegt in der behandlungsbedingt zwangsläufig längeren Beobachtungszeit. Ein Rückschluss auf speziell mit Sensibilitätsstörungen verbundenen Therapieformen war aufgrund der geringen Zahl an derartigen Komplikationen auch nicht bei Betrachtung motorischer Schwierigkeiten (2,4% gesamt) oder Durchblutungsstörungen möglich. Letztere mit 0,3% angegebene Problematik bezieht sich auf einen konkreten Fall mit verzögerter

Rekapillarierungszeit am Ende der Kontrollen, der jedoch bei Beantwortung des Fragebogens nicht mehr als solcher weiterverfolgt oder bestätigt werden konnte.

Werden Durchblutung, Motorik und Sensibilität, kurz auch DMS genannt, vor und nach den erfolgten Eingriffen betrachtet, so ist augenscheinlich, dass alle vor der Erstbehandlung bestehenden Sensibilitätsstörungen gänzlich verschwanden ebenso wie die primär klinisch ermittelten motorischen Defizite. Direkt nach dem Unfallgeschehen bestanden keinerlei Durchblutungsbeeinträchtigungen.

4 Diskussion

Werden laut Walsh, Jarvis und Towner [77] pro Jahr 25% basierend auf 54000 untersuchten Kindern beim Spielen oder alltäglichen Aktivitäten verletzt, so verwundert auch unsere epidemiologische Feststellung einer 1/3 Mehrheit des simplen Sturzes als häufigste Frakturursache des dislozierten radialen Bruches nicht. Beim Spielen an sich wurden weitere 10,3% erfasst und mit 14,7% noch etwas mehr im Rahmen des Fußballspielens.

Der Altersgipfel lag klar bei den knapp 10 Jährigen, wobei Landin [78] den über 13. bzw. 14. Jährigen sogar eine tendenziell noch höhere Frakturhäufigkeit zuschreibt.

Auch die zahlenmäßig vermehrt auftretende Extensionsfraktur im Vergleich zum Mechanismus des Flexionsbruches steht bei einem Verhältnis von 7,2 zu 1,6 in direktem Zusammenhang zum Sturz auf die ausgestreckte Hand und untermauert Rennies [80] Aussage der damit absolut häufigsten Unfallursache.

72,5% aller hier erfassten 383 Kinder waren außerdem männlich und stehen damit in Einklang mit der Annahme der etwas risikofreudigeren, agileren Jungen.

Der Leitgedanke dieser retrospektiv angelegten Studie besteht jedoch vornehmlich in der Identifikation adäquater Therapieformen der dislozierten distalen Radiusfraktur im Kindesalter. Es ist nicht im Sinne der einen, einzig gültigen und ausnahmslos zu empfehlenden Behandlungsform zu sehen, sondern vielmehr in der neutralen statistischen Erhebung und Auswertung des gesammelten Datenmaterials bezüglich der konservativen Versorgung mittels Reponierung, und deren Abgrenzung zur operativen, osteosynthetischen Alternative.

Die Fragestellung, ab wann primär eine Kirschnerdrahtosteosynthese anzuraten sei, wird gerade in Zeiten der zunehmend evidenzbasierten medizinischen Versorgung und der eine bestmögliche Behandlung fordernden Eltern kontrovers diskutiert.

Zuweilen fällt die Entscheidung zu Gunsten der das Repositionsergebnis weitgehend sicher haltenden Kirschnerdrahtosteosynthese [5], obgleich, laut McLauchlan et al. [4], das klinische Endresultat nach dreimonatiger Nachbeobachtungszeit mit dem der simplen Reponierung vergleichbar und damit nicht zu unterscheiden sei. Konkordant sehen auch Ozcan et al. [15] nach 20 Monaten keinerlei klinische oder radiologische Unterschiede zwischen osteosynthetisch versorgten und lediglich reponierten, sowie gegipsten, distalen metaphysären Speichenbrüchen. Miller et al. [6] ermittelten im prospektiven Vergleich beider Behandlungsregime zwar 39% sekundäre Dislokationen bei der konservativ reponierten Gruppe, wohingegen aber auch 38% des verdrahteten Vergleichskollektivs eindeutig auf die Verwendung von Kirschner-Drähten zurückzuführende Komplikationen erlitten. Nach im Mittel 10,5 Wochen waren die klinischen Ergebnisse als gleichwertig einzuordnen und selbst eine nachträgliche Kostenanalyse sah keinen Vorteil in der Bevorzugung einer der beiden Optionen.

Eine erkennbar niedrigere prozentuale Angabe des sekundären Abgleitens der Fragmentenden nach alleiniger primärer Reponierung konnte mit 25,8% am Dr. von Haunerschen Kinderspital ermittelt werden. Daraus ergaben sich bezogen auf diese Gruppe der erneut dislozierten Fälle nach Reposition keinerlei weitere Therapiekonsequenzen, da 78,0% dieser nachträglich dislozierten Frakturen als Maximalwert der erneuten Dislokation stets unter 10° einzuordnen waren und letztlich nur 3,6% aller Fälle außerhalb der altersentsprechend zu erwartenden Korrekturgrenzen der Remodellierung lagen (siehe 3.10.2.2). Es kann und muss also konsequenterweise von einer hohen Therapieerfolgsrate der Reponierung von 96,4% gesprochen werden.

Zudem beruht der Dislokationswert auf der selbstaufgelegten strengen Beurteilung der radiologischen Kontrollaufnahmen, die bei jeglicher Veränderung der zuvor erzielten, reponierten Stellung auch als solche konsequent erfasst werden musste (siehe 3.9.1). Darin besteht der große Unterschied zu vielen bisher erhobenen Studien [8] [72] [74] [66] [73] [71], die stets anhand von bereits im Vorfeld festgesteckten primär akzeptablen Achs- und Seit-zu-Seitfehlstellungen eine Vorauswahl trafen und dem kritischen Leser nicht die Möglichkeit zur Beurteilung dessen gaben, worin genau die Grenzen des Remodelings und der eigenen kritischen Zielsetzung lagen bzw. zu liegen hätten. Ebenso verbietet es sich nach unserem Dafürhalten eine generelle Altersgrenze festzulegen, in die die Spontankorrektur bei der Primärtherapie nicht mehr miteinbezogen werden sollte. Die meisten Untersuchungen sehen hier die Überschreitung des 10. Lebensjahres als kritisch [62] [64] [65] [66] [67] [68] [69].

Drahtbezogene Problemfälle waren jedoch im Gegensatz zu der vorherig erwähnten Untersuchung von Miller et al. [6] mit einem Fall einer notwendigen nachfolgenden Verplattung

und einer Metallreizung, die eine frühzeitige Entfernung des osteosynthetischen Materials forderte, relativ selten (siehe Abbildung 46).

Die Reponierung an sich konnte, wie im Folgenden gezeigt, als sinnvolle und erfolgsversprechende Option evaluiert werden.

Eine 96,4%ige Erfolgsaussicht bei der primären alleinigen Reposition unter Beachtung des Remodellierungspotentials bzw. 89,3% bei der zweifachen Reposition sprechen eine deutliche Sprache. Dabei kann diese „Erfolgsaussicht“ anhand der zuvor gesetzten, klaren altersabhängigen Korrekturgrenzen jederzeit nachvollzogen werden. Deren Festlegung basiert auf dem aktuell gängigen Forschungsstand (Tabelle 1) und den daraus ermittelten, weitgehend übereinstimmenden Meinungen.

Konkret liegen die hier angewandten Korrekturgrenzen bei den unter 12 jährigen bei $\leq 30^\circ$ bzw. einer lateralen Verschiebung von bis zu 1 Schaftbreite und bei den entsprechend über 12 Jahre alten Patienten bei $\leq 15^\circ$ Achsabweichung und unter $\frac{1}{2}$ Schaftbreite Translation.

Es bleibt zu bedenken: wenn auch die primäre Kirschnerdrahtosteosynthese nahezu eine Erfolgsgarantie im Halten des zuvor erzielten Ergebnisses bietet, so wiesen bei der einmaligen Reposition 79,8% aller auf diese Art behandelten Brüche bei der letzten radiologischen Kontrolle eine Restangulation kleiner als 10° auf, bei der Osteosynthese dementsprechend 92%. Das ergibt eine Differenz von 12,2%, die jedoch auf Kosten eines zwangsläufig zweiten Eingriffes zur Metallentfernung erkauft werden muss. Keine der verbliebenen größeren Restangulationen wurden zudem weiteren Therapien unterzogen. Auf eine adäquate Ruhigstellungsphase darf im Übrigen auch bei der osteosynthetischen, nur als lagerungsstabil zu bewertenden Versorgung keinesfalls verzichtet werden.

Ob nun die Metallentfernung, wie in der Dr v. Haunerschen Kinderklinik üblich, in Vollnarkose oder lediglich in Sedierung vorgenommen wird, erfordert die genaue Analyse des kindlichen Gemüts [48]. Nach unserer klinikinternen Meinung ist eine Traumatisierung durch derart negative Erlebnisse bei Kindern eines gewissen Alters nicht zu verantworten.

Symons et al. [124] plädieren jedoch für eine Metallentfernung perkutan eingebrachter und über dem Hautniveau belassener Drähte ohne jegliche Prämedikation, selbst wenn bei insgesamt 113 Kindern von zwei Patienten mit derart schmerzhaften Erleben berichtet wird, so dass konsekutiv sekundär in Vollnarkose behandelt werden musste. In aller Regel werden im Dr. von Haunerschen Kinderspital allerdings nur subkutan versenkte Drähte eingesetzt, eine gängige Praxis, die laut Hargreaves et al. [149] und Shoemaker et al. [150] zudem eine geringere Infektionsrate als die perkutane Alternative zur Folge hat.

Bereits 1978 empfahl Reichmann [151] die vorrangige Einrichtung und Immobilisation der dislozierten Speichenbrüche und sah die operative Therapie nur in Fällen von nicht möglichen Repositionen, inadäquaten Repositionen speziell bei epiphysärer Beteiligung sowie offenen und zugleich wesentlich dislozierten Frakturen als berechtigt. Der ausgleichenden Remodellierung sollte eine Chance gewährt werden [152], wobei Jones und Weiner [153] 1999 einen regelrechten Appell zu Gunsten der geschlossenen Reposition und Gipsruhigstellung ausriefen.

So kann auch unsere Untersuchung nur in Fällen speziell älterer Kinder (>5 Jahre) ab >20° Achsabweichung oder einer ½ Schaftbreite Translation (vgl. [154], [15] und [155]) die primäre Kirschner-Verdrahtung empfehlen. Schließlich kam bei 56 Kindern im Alter von 1-5 Jahren nur 5-mal die primäre Kirschnerdrahtosteosynthese zur Anwendung. Deren noch hohes, ausgleichendes Korrekturpotential kann und sollte berücksichtigt werden.

Osteosynthesen bei Frakturen unter 20° wurden nicht durchgeführt und beruhten in Ausnahmefällen auf großen Translationsverschiebungen (siehe Abbildung 42 bis Abbildung 44). Zudem erwies sich das Konzept der bis auf einen Kasus stets gekreuzten Einbringung als äußerst störungssicher (vgl. [30]).

Shoemaker et al. [150] favorisieren sogar die Technik der Kirschnerdrahtosteosynthese beider Unterarmknochen, sofern nicht einer von beiden als absolut stabil zu werten sei. Diese Untersuchungsergebnisse basieren insgesamt jedoch auf weiter proximal gelegenen, diaphysären instabilen Frakturen.

Proctor et al. [130] und Schneider [133] plädieren für den Gebrauch der Kirschner-Drähte, sobald keine „perfekte“ Reposition möglich sei, ohne deren Grenzen klar abzustecken. Zamzam et al. [112] wollen ferner unabhängig von zufriedenstellenden Repositionsergebnissen bei komplett dislozierten radialen Frakturen ohne jegliche periostale Verbindung immer eine Drahtversorgung als alleiniges Therapiekonzept durchsetzen. Sie sehen in dieser Ausgangssituation und der sich daraus ergebenden anfänglichen Weichteilschwellung die größte Gefahr einer späteren Dislokation nach Rückgang der Schwellung und den dadurch nicht mehr sicher im Gips zu fixierenden Bruch. Eine mit den Kirschnerdrähten in Verbindung gebrachte Tendenz zur schnelleren Frakturheilung, wie dies ein Cochrane-Review proklamiert [29], konnte anhand der hier durchgeführten statistischen Auswertungen im Übrigen nicht bestätigt werden.

Auch wenn in der vorliegenden retrospektiven Analyse keine negativen Effekte der Osteosynthese festgestellt werden konnten, so bleiben berichtete Komplikationsraten [154] [15] nie ganz zu vernachlässigen. Sie beinhalten eine die Austrittspunkte der Drähte betreffende Infektion (5,7%-20%) sowie die Neurapraxie (1,4%) und eine eventuell hypertrophe Narbenbildung [134] [4].

Als sekundäre Dislokationsrisiken nach manueller Brucheinrichtung, die Anlass zur Vorsicht bieten und die Wichtigkeit einer möglichst perfekten anatomischen Reposition betonen, konnten im Einklang zu anderen führenden Studien neben der Höhe der Fraktur [15] bzw. einer eventuellen Fugenbeteiligung auch das Vorliegen eines kompletten, dorsal dislozierten distalen Unterarmbruchs mit Ulna-Beteiligung [131] [156] [15] eruiert werden. Auf die genaue Beurteilung der Gipstechnik wird aufgrund der nicht ermittelten Gipsindices verzichtet.

Im aktuellen Literaturvergleich lässt sich ungeachtet dessen zusammenfassend bezüglich der Immobilisation Folgendes postulieren: Während in der Literatur auch die Ruhigstellung bei gestrecktem Ellbogengelenk gegenüber der bei entsprechend gebeugtem Gelenk bevorzugt wird [157] [158], scheint es vernachlässigbar, ob es sich um einen kurzen Unterarmgips oder einen langen Oberarmgips handelt [132] [131] [159]. Der nicht nur in dieser Studie häufig angewandte Oberarmgips [134] [153] [160] wird von den Kindern problemlos akzeptiert und auch das Argument lediglich im Schnitt eines somit weniger verpassten Schultages [132] bei alternativer Unterarmgips-Ruhigstellung erscheint damit wenig überzeugend. Die Vorzüge einer Positionierung im Sinne der Supinations-, Pronations- oder Neutralstellung werden ebenfalls verneint [161] [162] und können auch hier nicht zweifelsohne belegt werden. Der Grund ist in der zahlenmäßig stark überwiegenden Anbringung der Oberarmgipse in Scheedestellung (64,2%) bei den ätiologisch weitaus häufiger dorsal dislozierten Frakturen gegenüber nur wenigen Oberarmgipsen in Neutralstellung (22,1%) zu sehen (siehe Abbildung 30). Die sekundären Dislokationsraten unterscheiden sich bei beiden lediglich um 6,1% (Tabelle 18), wobei die Scheedestellung vorwiegend bei schwerwiegenderen dorsal dislozierten Brüchen zum Einsatz kam (siehe 3.8.4).

Es bleibt aber generell in Anlehnung an unsere Untersuchung sowie bei Betrachtung der verfügbaren problembezogenen Literatur([64] [26] [67] [71]) festzuhalten: Je weiter distal und damit näher an der aktiven Wachstumsfuge die Fraktur gelegen ist, desto unwahrscheinlicher ist ein Positionsverlust der Bruchenden nach Reposition bzw. desto günstiger die Prognose bei eventuell noch bestehenden Achsfehlern. So dislozierten am Übergang der Meta- zur Diaphyse 39,5%, und minimal mehr auf Höhe der Metaphyse, wohingegen Aitken-1- Frakturen und epiphysäre Brüche mit ca. 25% nachfolgendem Positionsverlust als weitaus günstiger einzuschätzen waren.

Die vermeintliche Instabilität der am Übergang der Meta- zur Diaphyse gelegenen distalen Speichenfrakturen betonen Joulié et al. [163] und Lieber et al. [164]. Auch können Patienten jüngeren Alters noch weniger streng therapiert werden (vgl. Voto et al. [127]). Die Frage nach dem noch möglichen Remodelingpotenzial bleibt in jedem individuellen Fall zu klären. Die hier

angewandte Grenzsetzung einer im Vergleich zum Unfallröntgen noch akzeptablen Rest-Angulation und -Translation orientiert sich an gängigen wissenschaftlichen Untersuchungen (siehe Tabelle 28).

Zudem überraschte die Feststellung wenig, dass die im Dr. von Haunerschen Kinderspital mit primärer Osteosynthese oder zweifacher Reposition behandelten Kinder eine nahezu gleich lange stationäre Aufenthaltsdauer von ca. 2,5 Tagen in Anspruch nahmen (siehe Tabelle 13). Schließlich wurde auch die Metallentfernung mitberücksichtigt, da dies ebenfalls einen erneuten Aufenthalt bedingt und damit nicht zwangsläufig als die sicherste und zugleich „schnellste“ Lösung angesehen werden darf.

Nicht zu leugnen ist natürlich, dass gerade die ersten 4 Wochen nach Unfallgeschehen speziell bei der alleinigen Fraktureinrichtung ohne Fixierung mittels Drähten eine noch engmaschigere Kontrolle benötigt. Konform zu den hier angewandten radiologischen Kontrollintervallen wählten auch Bochang et al. [165] bei repositionierten, instabilen, kompletten, dislozierten Brüchen oder Grünholzfrakturen einen Rhythmus von einer, zwei und zuletzt vier bis sechs Wochen bei Gipsentfernung. Jedoch wird diese letzte Abschlusskontrolle von Bochang ohne das Vorliegen klinischer Zeichen einer Fehlstellung oder nicht erfolgter Konsolidierung abgelehnt [165]. Diese letzte radiologische Überprüfung des erzielten Ergebnisses ist aber nach unserem Dafürhalten als medizinische Bestätigung zu verstehen. Nicht zuletzt wären auch retrospektive Studien, die dem Zwecke einer Therapiereevaluation unterliegen, ohne diese nicht möglich und faktisch kaum zu stützen.

Das manuelle Geschick bzw. die bestmögliche Ausführung beim Wiederherstellen der anatomisch korrekten Positionierung der Frakturenden sollte resultierend aus der hier vorliegenden Studie nicht unterschätzt werden, selbst wenn Voto et. al [127] gerade bei jüngeren Kindern deutliche Abstriche in der bestmöglichen ersten Reposition machen. Dem widersprechen wir deutlich und verweisen auf die Wichtigkeit der korrekten Ausführung.

Ein auf die Erfahrung des behandelnden Arztes zurückzuführendes, unterschiedlich gutes Repositionsergebnis lehnt eine aktuelle prospektive Studie im Vergleich eines orthopädischen Assistenzarztes mit drei- bis vierjähriger Praxis gegenüber einem weitaus länger trainierten Facharzt der Orthopädie ab [166]. Die Technik der Bruchereinrichtung ist also weitaus entscheidender als der individuelle Erfahrungswert.

Die optimale Erstreposition ergab in den hier vorliegenden Untersuchungen generell 25,3% weniger sekundäre Dislokationen als bei intraoperativ aufgetretenen Schwierigkeiten, die eine perfekte Ausführung unmöglich machten (siehe Tabelle 23). Dementsprechend betonen auch

Haddad und Williams [13] sowie diverse andere Autoren ähnlicher Untersuchungen [131] [167] [130] [156] die Wichtigkeit dieser ersten Korrektur, während Bohm et al. [131] diese sogar übergeordnet zur angewandten Gipstechnik betrachten. Einzig Luscombe et al. [16] bestreiten einen Zusammenhang zwischen der Qualität der ersten Reposition und der Entwicklung einer zweiten Dislokation.

Gänzlich neu ist der Aspekt der intraoperativ vorgenommenen, mehrmaligen Repositions-Versuche, die trotz gutem Endergebnis bereits die Instabilität des Bruches anzeigten und ein Abrutschen von 53,3% zur Folge hatten. Keine andere bislang veröffentlichte Studie beschrieb eine derartige Problematik, die trotz Erfolg der abermaligen Einrichtung mehr oder weniger vorhersehbar zum späteren Abgleiten der Frakturfragmente führte (siehe Tabelle 24). Als Konsequenz empfiehlt sich folglich bei derartigen Schwierigkeiten frühzeitig eine Drahteinbringung in Erwägung zu ziehen und nicht ein absehbares Scheitern billigend in Kauf zu nehmen.

Weiterhin bislang nicht untersucht war die Beleuchtung der subjektiven Zufriedenheit mit Funktion und Ästhetik des Therapieergebnisses nach mehreren Jahren. So steht hierbei als ästhetischer Verlierer die Drahtversorgung im Vordergrund. Die Frage nach der funktionellen Zufriedenheit stellt die alleinige Repositionierung und zweifache Reposition durchweg positiv dar, aber lässt auch die laut DASH-Score funktionelle Gleichwertigkeit von zweifacher Reposition und primärer Kirschner-Draht-Einbringung nicht außer Acht. Dabei gilt zu beachten, dass Price et al. [45] und Daruwalla [46] zufolge subjektiv auch große Bewegungseinschränkungen bis zu 40° durchaus ausgleichbar seien und den Patienten als solche in Folge dessen nicht bewusst werden. Ob aber restliche Achsabweichungen überhaupt für derartige funktionelle Einschränkungen verantwortlich gemacht werden dürfen, stellen Nilsson und Obrant [44] generell in Frage. Die Angabe etwaiger Parästhesien oder subjektiv empfundener, nicht weiter definierter Steifheitsgefühle in Hand oder Arm (siehe DASH- Score) wird überdies im Rahmen der Auswertung unserer Fragebögen vermehrt nach der Drahtversorgung genannt.

Die Grenzen, der mit einer 28,6%igen Rücklaufrate verbundenen Fragebogenauswertung und deren natürliche Grenzsetzung, der je nach Alter unterschiedlich zu bewertenden Aussagen [26], setzen der Untersuchung berechnete Einschränkungen. Auch sollte in Zukunft den Gipsindices weitere Beachtung geschenkt werden.

Bisher kam bei Weitem keine derart groß (393 Frakturen) angelegte retrospektive Studie zur Anwendung [3] [4] [5] [6]. Statistik wird aber bei entsprechend großem Beobachtungskollektiv weitaus verlässlicher und daher bezogen wir unser Untersuchungskollektiv aus zurückblickend

insgesamt 6 Jahren Therapie der dislozierten distalen radialen Fraktur am Dr. von Haunerschen Kinderspital.

Offene Frakturen, Grünholzbrüche sowie epiphysäre Brüche blieben entgegen anderer Veröffentlichungen berücksichtigt. Diese auszuschließen, verzerrt das sich im Klinikalltag bietende Bild, das es wiederzugeben gilt und anhand dessen entsprechende Therapiekonzepte zu entwickeln.

Darüber hinaus war die Bestimmung dessen, was als perfekte Reposition galt, sehr streng gesetzt worden. Alle Ergebnisse mit >1 Kortikalisbreite und/oder einer Achsabweichung $>5^\circ$ waren demnach als suboptimal zu werten. Eine weitaus großzügigere Zielsetzung würde natürlich im Vorhinein unbewusst das Resultat verbessern. Ähnlich enge Grenzen setzen auch Jordan und Westacott [167] in der momentan aktuellsten, diesbezüglich zur Verfügung stehenden Untersuchung. Eine perfekte Erstreposition sei demnach auch nur bei einer Restangulation $<5^\circ$ bzw. einer Translation von $<10\%$ erreichbar und definierbar. Sie sehen eine 40%ige sekundäre Dislokationsrate bei deren Nichterfüllung und identifizieren zugleich das spätere Abrutschen nur bei $>20^\circ$ Achsabweichung bzw. 50% Verschiebung. Dem entgegengesetzt verzichteten wir auf eine Grad- und Translationsabgabe, ab der das ersterzielte Einrichtungsergebnis sekundär disloziert war. Vielmehr ist eine sekundäre Dislokation doch bereits ab dem Punkt erreicht, der von dem intraoperativen Durchleuchtungsbild abweicht. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen sind also erst im Endergebnis, im Rahmen der vorgenommenen Befragung, im Schnitt drei Jahre nach dem Unfallgeschehen, oder in weiteren Therapieschritten, wirklich beurteilbar.

Spätfolgen im Sinne einer Refraktur sind bei Kindern mit 5,5% laut persönlichen Angaben als eher klein einzuschätzen. Die Ursache ist in der schnellen Remineralisation und der von Fung [168] dargestellten größeren Widerstandsfähigkeit der Bruchstelle zu finden. Die nur auf Einzelberichte basierenden Komplikationen einer nicht stattfindenden Konsolidierung bei offener Reposition [169], des Karpal-Tunnel-Syndroms [170], oder des Risses des langen Daumenstreckers bei minimal dislozierten distalen Speichenbrüchen [171], konnten in keinem Fall nachgewiesen werden.

Eine bedeutende Frage, die sich dem Kliniker wiederholt stellt, ist, was aus Sicht des Patienten und dessen Eltern wichtig erscheint. So glauben Schneider et. al [133] sogar, dass die Restangulation an und für sich dem Patienten egal sei. Obwohl diese Meinung hier nicht vertreten wird, so wäre doch ein im Idealfall subjektiv und objektiv zufriedenstellendes Ergebnis in Funktion und Ästhetik erstrebenswert.

Beides kann durchaus bei entsprechendem Management durch eine Reposition erreicht werden. Die Altersbegrenzung kann aber nicht der alleinige begrenzende Faktor sein. So spielen laut

Linhart und von Laer [66] auch psycho-soziale Aspekte eine entscheidende Rolle. Deshalb wird davor gewarnt, das Remodeling zu übertreiben und die Akzeptanz etwaiger verbliebener Fehlstellungen zu überfordern.

Die Aufklärung der Kinder bzw. deren Eltern ermöglicht ein besseres Verständnis für nicht immer notwendige radikale Eingriffe und erzwungene anatomische Drahtfixierungen. Fehlendes Wissen schafft Angst [172]. Schmittenebecher [14] empfiehlt, den betreuenden Personen entsprechende Röntgenaufnahmen zu zeigen, um Möglichkeiten und Grenzen des ausgleichenden Remodellierungspotentials zu verdeutlichen. Familiäre Akzeptanz und physiologische Potenz sind leider nicht immer deckungsgleich.

Die vorgenommene Modifikation des DASH-Scores könnte zuweilen für weitere Studien verwendet werden und erschien aufgrund der damit erzielten Aussagen als funktionell in der postalischen Nachuntersuchung der Kinder. Die Notwendigkeit zur Abänderung ergab sich aus der bislang nur auf Erwachsenen bezogenen Fragestellung, die den kindlichen Aktivitäten nicht immer gerecht wird.

Beckmann [3] hingegen orientiert sich unverändert am ursprünglich konzipierten Score, obgleich dessen Untersuchung ausschließlich auf Unterarmfrakturen im Alter von 4-16 Jahren eingeht und die Kinder bei einer minimalen follow-up-Zeit von 6 Monaten keinesfalls die abgefragten, adulten Fähigkeiten besitzen.

Armumfangsaufzeichnungen mit Darstellung etwaiger bestehender Deformitäten können, wie gezeigt, bereits erste ferndiagnostische Rückschlüsse erleichtern, ersetzen aber natürlich nie eine direkte klinische Untersuchung und Beurteilung des Patienten.

Als Konsequenz bleibt, den Aufwand einer Drahtversorgung mit Metall- und Fädenentfernung gegenüber einer durchaus als sicher und effektiv zu bezeichnenden Reposition [127] und eventuellen Rereposition abzuwägen. Letztere erschien in dieser Studie ohne jegliche negative Konsequenz (vgl. Voto et al. [127]), wobei das Prinzip der primär definitiven Versorgung [10] [11] [12] ungeachtet dessen zum Wohle des Kindes berücksichtigt werden muss.

Auch anhand des Body Maß Indexes, also unter Berücksichtigung der hier nicht erhobenen Körpergröße, einen Zusammenhang zwischen Übergewicht und vermehrter epidemiologischer distaler, radialer Frakturhäufigkeit herzustellen, könnte Teil weiterer rückblickender Untersuchungen sein. Der Trend des kindlichen Übergewichtes konnte in unserer Untersuchung mit 60,5% der außerhalb der Norm liegenden Patienten jedenfalls bestätigt werden und damit auch eine Verbindung zum laut Ogden et al. gehäuftten Frakturauftreten [86] nicht widerlegt werden.

Einen interessanten Ansatz stellt ebenfalls die supportive Behandlung körperferner Speichenbrüche mit Wob-Enzymen dar. So konnten Isaeva et al. [173] durch eine adjuvante Therapie mit Enzymen während der ersten drei bis vier Wochen nach dem Unfallgeschehen überzeugende Verbesserungen in der funktionalen Rehabilitation bei Kindern erreichen. Schmerzen und Schwellungen verschwanden wie bei den durchgeführten Repositionen doppelt so schnell.

5 Zusammenfassung

In dieser retrospektiv angelegten Studie wurden anhand 393 distaler dislozierter Radiusfrakturen bei 383 im Wachstum befindlicher Kinder die aktuell zur Verfügung stehenden Therapieoptionen untersucht.

Konkret setzten sich die hierfür betrachteten Patienten aus Kindern in der kompletten Altersspanne zwischen 0 bis 18 Jahren zusammen. Das Durchschnittsalter betrug 9,78 Jahre, wobei die Großzahl der ursächlichen Unfallgeschehen mit 32,6% einem simplen Sturz aus dem Stand bzw. dem Stolpern zuzurechnen waren. Dies korreliert eindeutig mit dem überwiegenden Anteil an Extensionsfrakturen im Vergleich zum Mechanismus der Flexion. Das numerische Verhältnis betrug 7,2 zu 1,6.

Die möglichen Behandlungsarten bestehen grundsätzlich in der manuellen Reposition des Bruches und folgender Immobilisation mittels Gips oder der entsprechend osteosynthetischen Sicherung der operativ erzielten Fraktureinrichtung mit Einbringung sogenannter Kirschner-Drähte, die in der Größe an die kindliche Anatomie angepasst sind. Größten Wert wurde natürlich auf eine schnellstmögliche Erstversorgung gelegt. Eine Intervention am Unfalltag konnte demnach in 71,0% der Frakturen gewährleistet werden.

Die vermehrte Anwendung der unbestreitbar sicheren Retention des erzielten Repositionsergebnisses durch Kirschnerdrähte bedarf jedoch, neben der zusätzlichen Ruhigstellung, einer weiteren Intervention zur Metallentfernung und Narkose. Eine mittlere stationäre Aufenthaltsdauer von 2,58 Tagen verweist auf die dadurch insgesamt prolongierte „Krankenhauszeit“.

Ziel war es also, die in der Zeit von 2005 bis 2011 im Dr. von Haunerschen Kinderspital behandelten Kinder mit diesem speziellem Frakturtyp auf Effizienz, Komplikationen, das subjektive Langzeitergebnis anhand eines speziell entwickelten Fragebogens und die Erfolgsaussicht der einzelnen Therapiearten hin zu prüfen.

Der hier zur Anwendung gekommene Fragebogen orientiert sich an der deutschen Übersetzung des DASH- Scores und wurde für Kinder ab einem Alter von 8 Jahren modifiziert. Die jüngeren Patienten wurden per Fremdanamnese durch die Eltern mit Hilfe eines illustrierten Bogens verschiedener Hand- bzw. Armgelenksbewegungen erfasst und entsprechend eingestuft. Beide Verfahren erwiesen sich im Laufe der Studie als zwar keine vor Ort Untersuchung ersetzend aber durchaus praktikabel um größere Langzeitdefizite schnell aufzuspüren.

Neben der Erhebung epidemiologischer Daten, die im Gleichklang zu gängigen Forschungen stehen, erwies sich die bisweilen immer weniger im Vordergrund stehende, konservative

Reposition und Gipsanbringung als weiterhin gültiger Goldstandard. Dieser kann, sofern innerhalb bestimmter Grenzen sinnvoll angewandt, respektable und zufriedenstellende Resultate erzielen, wie anhand prä- und postoperativ bei Konsolidationskontrolle vorgenommenen radiologischen Kontrollen nachgewiesen wurde. Konkret konnten mit dieser Methode 74,2% aller derart behandelten Brüche absolut folgenlos, ohne jegliche sekundäre Achsabweichung, ausheilen. Diejenigen, die einen erneuten Positionsverlust der Bruchenden erlitten, wurden keiner weiteren Therapie unterzogen, da sie innerhalb des zu erwartenden ausgleichenden Remodellierungspotentials lagen. Die festgelegten Korrekturgrenzen lagen bei den unter 12 jährigen bei $\leq 30^\circ$ bzw. einer lateralen Verschiebung von bis zu 1 Schaftbreite und bei den entsprechend über 12 Jahre alten Patienten bei $\leq 15^\circ$ Achsabweichung und unter $\frac{1}{2}$ Schaftbreite Translation.

Ebenso stellte sich in der Beurteilung der subjektiven, ästhetischen und funktionellen Zufriedenheit diese Therapieform als bevorzugt zur alternativen Verdrahtung dar. In Prozent ausgedrückt zeigten sich 87,9% aller Patienten mit einmalig reponierten Brüchen als sehr zufrieden bezüglich Funktion und vor allem Ästhetik. Demgegenüber stehen nur 50,0% optisch sehr zufriedenstellende primäre Kirschnerdrahtversorgungen. Das ergibt rechnerisch immerhin eine beachtliche Differenz von 37,9%. Letztere Option erhielt nach statistischer Analyse als primäre Therapie bei Kinder >5 Jahre, ab $>20^\circ$ Achsabweichung oder einer $\frac{1}{2}$ Schaftbreite Translation ihr vorrangiges Einsatzgebiet und steckte somit zugleich die Grenzen für die analoge Bruchereinrichtung ohne zusätzliche Osteosynthese.

Selbst der zum Teil kritisch betrachteten wiederholten Reposition bei sekundärem Verlust der zuerst erzielten Frakturposition wird eine Berechtigung aufgrund der durchweg positiven Ergebnisse eingeräumt. 64,3% aller Restangulationen waren dabei im vernachlässigbaren Bereich von unter bzw. bis zu 10 Grad anzusiedeln. Bezogen auf das jeweilige Kindesalter und das damit zu erwartende Remodellierungspotential konnte mit Ausnahme von 3 Fällen von einem sehr guten bis guten Endergebnis gesprochen werden.

Es bleibt zu betonen, wie wichtig eine perfekte anatomische Erstreposition erscheint und dabei wiederholte, wenn auch erfolgreich intraoperativ vorgenommene Einrichtungsversuche bereits wegweisend für ein späteres Misslingen sind. 25,3% mehr sekundäre Dislokationen als bei entsprechend perfektem intraoperativen Verlauf sollten ein deutliches Warnzeichen sein. Somit erfolgt der Rat, bei derartigen Schwierigkeiten einen schnellen Wechsel zur Kirschnerdrahtosteosynthese in Betracht zu ziehen.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass an der Reposition als immer noch gängiger Goldstandard festgehalten werden sollte und deren großes Potential nicht aufgrund eines anatomisch zweifelsfrei gesicherten Ergebnisses mittels Kirschnerdrahtosteosynthese vernachlässigt werden darf.

Als Nebebefund bezüglich etwaiger Komplikationen, die bis auf die zuvor beschriebene Achsabweichung bislang unerwähnt blieben, zeigte sich bei 21,9% aller 393 Patienten eine als moderat einzustufende Inaktivitätsosteopenie. Diese ist bedingt durch die längere Immobilisierung und einer sich daraus ergebenden Knochendichteabnahme. Es handelt sich aber um ein häufig zu beobachtendes absolut reversibles Phänomen, das therapieunabhängig auch in unserer Untersuchung zum Tragen kam.

Auf die Kirschnerdrahtosteosynthese bezogene Probleme konnten nur in einem singulären Fall einer Metallreizung eruiert werden und führten lediglich zu einer frühzeitigen Metallentfernung ohne weitere negative Konsequenzen.

Auch schwerwiegende Komplikationen, die eventuell zu Folgeschäden führen könnten, waren im gesamten Kollektiv therapieunabhängig nur in 3,3% erfassbar.

Die so oft gefürchtete Wachstumsstörung trat nur 6 x auf und zudem nur bei entsprechend älteren Patienten kurz vor Schluss der epiphysären Fugen. Somit bleibt aus dieser Sichtweise die große Streitfrage ob eine der zwei Therapieoptionen dafür verantwortlich gemacht werden könne zu verneinen.

6 Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior-posterior
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
ASSH	American Society for Surgery of the Hand
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
DASH	Disability of Arm Shoulder and Hand
DMS	Durchblutung – Motorik - Sensibilität
e.V.	eingetragener Verein
ESIN	Elastic Stable Intramedullary Nailing
et al.	et alii/und andere
etc.	et cetera/und so weiter
LEAFR	Lower Extremity- aided Fracture Reduction
Li-La	Licht und Lachen für kranke Kinder (Verein)
mm	Millimeter
mSv	Milli-Sievert
o.ä.	oder ähnlich
OA	Oberarm
PCCF	Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fracture
TFCC	Triangulärer fibrokartilaginärer Komplex
UA	Unterarm

7 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Darstellung eines distalen radialen Bruches (anteriore und laterale Sichtweise)</i>	4
<i>Abbildung 2: Radius und Ulna mit Membrana interossea antebrachii</i>	5
<i>Abbildung 3: Radius und Ulna als verbundene Stöcke</i>	5
<i>Abbildung 4: Radius und Ulna als verbundenes Parallelogramm</i>	5
<i>Abbildung 5: $\alpha=15-25^\circ$ Radiusbasiswinkel</i>	8
<i>Abbildung 6: $\beta=10^\circ$ palmarer Kippwinkel</i>	8
<i>Abbildung 7: Unterarmknochen in Pronationsstellung</i>	10
<i>Abbildung 8: Definition der Metaphyse M laut PCCF</i>	19
<i>Abbildung 9: Epiphysenfugen-Verletzungen nach Aitken</i>	22
<i>Abbildung 10: Colles-Fraktur</i>	24
<i>Abbildung 11: angedeutete Fourchette-Fehlstellung</i>	24
<i>Abbildung 12: Smith-Fraktur</i>	24
<i>Abbildung 13: Fehlstellung der Smith-Fraktur</i>	24
<i>Abbildung 14: 13 Jahre männlich, obere Reihe: Unfallbilder nach Sturz beim Spielen; mittlere Reihe: Zustand nach geschlossener Reposition und Oberarmgips in Scheedestellung([31]); untere Reihe: Zustand nach 4 Wochen mit Kallusbildung</i>	32
<i>Abbildung 15: 15 Jahre männlich, obere Reihe: Unfallbilder nach Hockeyspiel inklusive Epiphysiolyse der Ulna; mittlere Reihe: Zustand nach geschlossener Reposition und Kirschner-Draht-Versorgung der Speiche (intraoperative Durchleuchtungsbilder); untere Reihe: Zustand nach Metallentfernung 7. Woche nach Unfall</i>	35
<i>Abbildung 16: Umriss beider distaler Unterarme und Hände eines 8 jährigen Patienten mit Zustand nach meta-diaphysärem Bruch und damals unvollständiger geschlossener Reponierung sowie sekundärer Dislokation nach 4 Wochen; Nach 1,8 Jahre sind keinerlei funktionelle oder optische Einbußen erkennbar</i>	49
<i>Abbildung 17: Umriss der distalen Unterarme und Hände einer 8 jährigen Patientin mit Zustand nach meta-diaphysärem Bruch bei rein konservativer Behandlung durch Gipsschienung und konsekutiver bleibender Achsverschiebung bei Konsolidation nach 4 Wochen; Nach 6 Monaten immer noch bestehende leichte bis mittlere Deformität</i>	49
<i>Abbildung 18: Histogramm der Altersverteilung</i>	51
<i>Abbildung 19:Frakturlokalisation - der betroffene Arm</i>	52
<i>Abbildung 20: Die häufigsten Unfallmonate</i>	53
<i>Abbildung 21: Häufigkeit der Unfallursachen</i>	55
<i>Abbildung 22: Verteilung der Frakturtypen nach offen und geschlossen bzw. Sonderformen</i>	58
<i>Abbildung 23: Zeitpunkt der primären Versorgung</i>	64
<i>Abbildung 24: Anzahl der Röntgenkontrollen bei zweifacher Reposition ohne Berücksichtigung der intraoperativen Aufnahmen</i>	67
<i>Abbildung 25: Anzahl der Röntgenkontrollen bei sekundärer Kirschnerdrahtosteosynthese ohne Berücksichtigung der intraoperativen Aufnahmen</i>	68
<i>Abbildung 26: Allgemeine knöcherne Konsolidierungszeit in Wochen</i>	70

<i>Abbildung 27: Häufigkeit aller primären Versorgungen</i>	<i>72</i>
<i>Abbildung 28: Häufigkeit aller primären Versorgungen (kompakt).....</i>	<i>72</i>
<i>Abbildung 29: Häufigkeit aller sekundären Versorgungen.....</i>	<i>73</i>
<i>Abbildung 30: Art der angewandten Retention nach Erstversorgung.....</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung 31: OA-Gipsschienung in Scheede oder Neutral.....</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung 32: Sekundäre Dislokation</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung 33: Sekundäre Dislokation bei primärer alleiniger Reposition</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung 34: Anfangsgrad bei rein konservativer Versorgung in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 35: Endgrad bei rein konservativer Versorgung in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 36: Anfangsgrad bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>89</i>
<i>Abbildung 37: Anfangstranslation bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 38: Endgrad bei primärer alleiniger Reposition in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 39: Anfangsgrad bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 40: Anfangstranslation bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 41: Endgrad bei Rereposition in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 42: Anfangsgrad bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 43: Anfangstranslation bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter.....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 44: Endgrad bei primärer Kirschnerdrahtosteosynthese in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>95</i>
<i>Abbildung 45: Endgrad bei sekundärer Kirschnerdrahtosteosynthese nach primärer Reposition in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>96</i>
<i>Abbildung 46: Allgemeine Komplikationen.....</i>	<i>97</i>
<i>Abbildung 47: Rücklauf der Fragebögen.....</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 48: Anteil der über,- unter- und normalgewichtigen Kinder und Jugendlichen</i>	<i>100</i>

8 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Primär akzeptable Grad- und Altersgrenzen</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 2: Einteilung epiphysärer Frakturen nach Aitken/ Salter & Harris</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 3: Klassifikation der offenen Frakturen</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 4: Einteilung Eintauchungstiefe und Grad der Achsabweichung</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 5: Vergleich Original - Modifikationen DASH-Score</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 6: Geschlechtsverteilung</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 7: Unfallmechanismus - Extension oder Flexion</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 8: Komplette – isolierte radiale Unterarmfraktur und sekundäre Dislokation</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 9: Fugenbeteiligung und sekundäre Dislokation</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 10: Primäre Dislokationsrichtung und sekundäre Dislokation</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 11: Frakturlokalisierung und sekundäre Dislokation</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 12: Begleitverletzungen und sekundäre Dislokation</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 13: Therapieoptionen und stationäre Aufenthaltsdauer</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 14: Therapieoptionen und Anzahl der Röntgenkontrollen</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 15: Erkennen der sekundären Dislokation in Röntgenkontrollen</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 16: Knöcherne Konsolidierung in Wochen</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 17: Einsatz der Fingerextensionshüllen in Abhängigkeit der primären Eintauchtiefe</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 18: Sekundäre Dislokation bei OA-Gips in Scheede- und Neutralstellung</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 19: Sekundäre Dislokation in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 20: Sekundäre Dislokation bei nur (Gips-) Schienung</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 21: Maximale Dislokationswerte nach nur (Gips-) Schienung</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 22: Maximale sekundäre Dislokationswerte nach primärer alleiniger Reposition</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 23: Sekundäre Dislokation bei intraoperativen Schwierigkeiten</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 24: Sekundäre Dislokation bei unterschiedlichen intraoperativen Schwierigkeiten</i>	<i>84</i>
<i>Tabelle 25: Maximale sekundäre Dislokationswerte bei zweifacher Reposition</i>	<i>84</i>
<i>Tabelle 26: Maximale sekundäre Dislokationswerte nach primärer Kirschner-Drahtversorgung</i>	<i>85</i>
<i>Tabelle 27: Achsverschiebung bei der letzten Röntgenkontrolle in Abhängigkeit vom Patientenalter</i>	<i>86</i>
<i>Tabelle 28: Altersabhängig festgelegte Korrekturgrenzen</i>	<i>87</i>
<i>Tabelle 29: Komplikationen in Abhängigkeit vom Alter</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 30: Händigkeit und frakturierter Unterarm</i>	<i>99</i>
<i>Tabelle 31: Zusammenhang des DASH-Scores und der Angabe der funktionellen Zufriedenheit</i>	<i>101</i>
<i>Tabelle 32: Zusammenhang zwischen ästhetischer Zufriedenheit und Therapieart</i>	<i>101</i>
<i>Tabelle 33: Zusammenhang zwischen funktioneller Zufriedenheit und Therapieart</i>	<i>102</i>
<i>Tabelle 34: Zusammenhang zwischen DASH-Score und Therapieart</i>	<i>103</i>
<i>Tabelle 35: Zusammenhang zwischen alternativen Fragebogen und Therapieart</i>	<i>103</i>
<i>Tabelle 36: Armumfangsveränderungen und Deformitäten im Therapievergleich</i>	<i>105</i>

<i>Tabelle 37: Zusammenhang zwischen Schmerzempfinden und Therapieart</i>	<i>106</i>
---	------------

9 Literaturverzeichnis

- [1] R Kraus, L Wessel, "The treatment of upper limb fractures in children and adolescents," *Deutsches Ärzteblatt International*, vol. 107, no. 51-52, pp. 903-910, Dezember 2010.
- [2] DS Bae, "Pediatric distal radius and forearm fractures," *J Hand Surg*, vol. 33A, pp. 1911-1923, Dezember 2008.
- [3] C Beckmann, Die Therapie der kindlichen Unterarmschaft- und distalen Unterarmfrakturen- Eine retrospektive Studie zur Evaluation konservativer und operativer Behandlungsregime, 2006.
- [4] GJ McLauchlan, B Cowan, IH Annan, JE Robb, "Management of completely displaced metaphyseal fractures of the distal radius in children," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 84-B, no. 3, pp. 413-417, April 2002.
- [5] W van Leemput, K De Ridder, "Distal metaphyseal radius fractures in children: reduction with or without pinning," *Acta Orthop Belg*, vol. 75, no. 3, pp. 306-309, Juni 2009.
- [6] BS Miller et al., "Cast immobilization versus percutaneous pin fixation of displaced distal radius fractures in children: A prospective, randomized study," *J Pediatr Orthop*, vol. 25, no. 4, pp. 490-494, Juli/August 2005.
- [7] KE Wilkins, "Principles of fracture remodeling in children," *Injury, International Journal of the Care of the Injured*, vol. 36, no. Suppl 1, pp. A 3-11, 2005.
- [8] JJW Ploegmakers, CCPM Verheyen, "Acceptance of angulation in the non-operative treatment of paediatric forearm fractures," *J Pediatr Orthop B*, vol. 15, no. 6, pp. 428-432, November 2006.
- [9] TT Do, WM Strub, SL Foad, CT Mehlman, AH Crawford, "Reduction versus remodeling in pediatric distal forearm fractures: a preliminary cost analysis," *J Pediatr Orthop B*, vol. 12, pp. 109-115, 2003.
- [10] PP Schmittenebecher, "Analysis of reinterventions in children's fractures- an aspect of quality control," *Eur J Trauma*, vol. 30, pp. 104-109, 2004.
- [11] St Breusch, M Clarius, H Mau, D Sabo, *Klinikleitfaden. Orthopädie Unfallchirurgie*, 6th ed. München, Deutschland: Elsevier GmbH, Urban & Fischer-Verlag, 2009.
- [12] TF Slongo, "The choice of treatment according to the type and location of the fracture and

- the age of the child," *Injury Int J Care Injured*, vol. 36, no. Suppl, pp. S-A12-S-A19, 2005.
- [13] FS Haddad, RL Williams, "Forearm fractures in children: avoiding redisplacement," *Injury Int J Care Injured*, vol. 26, no. 10, pp. 691-692, 1995.
- [14] PP Schmittenebecher, "Frakturen," *Pädiatrie up2date*, vol. 1, pp. 45-60, 2008.
- [15] M Ozcan, S Memisoglu, C Copuroglu, K Saridogan, "Percutaneous Kirschner Wire fixation in distal radius metaphyseal fractures in children: does it change the overall outcome?," *Hippokratia*, vol. 14, no. 4, pp. 265-270, 2010.
- [16] KL Luscombe, S Chaudhry, JSM Dwyer, C Shanmugam, N Maffulli, "Selective Kirschner wiring for displaced distal radial fractures in children," *Acta Orthop Traumatol Turc*, vol. 44, no. 2, pp. 117-123, Dezember 2010.
- [17] PW van Egmond, IB Schipper, PA van Luijt, "Displaced distal forearm fractures in children with an indication for reduction under general anesthesia should be percutaneously fixated," *Eur J Orthop Surg Traumatol*, Juni 2011.
- [18] AP Aitken, "Fractures of the Epiphyses," *Clin Orthop & Related Research*, vol. 41, pp. 19-23, 1965.
- [19] G Germann, G Wind, A Harth, "Der DASH-Fragebogen- Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität," *Handchir Mikrochir plast Chir*, vol. 31, no. 3, pp. 149-152, 1999.
- [20] A Colles, "On the fracture of the carpal extremity of the radius," *Edinb Med Surg J*, vol. 10, pp. 181-186, April 1814.
- [21] AR Jones, "Abraham Colles," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 32B, no. 1, pp. 126-130, Februar 1950.
- [22] R McRae, M Esser, *Praxis der Frakturbehandlung*, 4th ed. München, Deutschland: Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, 2009.
- [23] H Frick, H Leonhardt, D Starck, W Kühnel, R Putz, *Allgemeine Anatomie. Spezielle Anatomie. 1. Extremitäten-Rumpfwand-Kopf-Hals*, 4th ed. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme- Verlag, 1992, vol. I.
- [24] RB Salter, WR Harris, "Injuries involving the epiphyseal plate," *J Bone Joint Surg (Am)*, vol. 45-A, no. 3, pp. 587-622, April 1963.
- [25] J Langman, *Medizinische Embryologie. Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen*, 2nd ed. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme-Verlag, 1972.

- [26] SP Kelley, "(iv) The response of children to trauma," *Orthopaedics and Trauma*, vol. 24, no. 1, pp. 29-41, 2009.
- [27] G Täger, LE Podleska, S Ruchholtz, D Sommerfeldt, D Nast-Kolb, "Epiphysennahe Frakturen bei Kindern. Teil I: Obere Extremität," *Der Unfallchirurg*, vol. 10, pp. 867-883, September 2007.
- [28] R Zimmermann et al., "Long-term results following pediatric distal forearm fractures," *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 124, pp. 179-186, Februar 2004.
- [29] M Uhl, J Geiger, PC Strohm, "Skeletttraumatologie im Wachstumsalter. Radiologische Diagnostik," *Der Radiologe*, vol. 51, pp. 719-736, August 2011.
- [30] L von Laer, R Kraus, WE Linhart, *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*, 5th ed. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme-Verlag, 2007.
- [31] A-M Weinberg, D Schneidmüller, *Unfallchirurgie bei Kindern. Kompendium der Kindertraumatologie*, 1st ed. Köln, Deutschland: Deutscher Ärzte-Verlag, 2010.
- [32] P Schmittenebecher, "Wachstumsphänomene und Korrekturmechanismen des wachsenden Skeletts," in *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenebecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 27-39/4. Kapitel.
- [33] Z Zachariou, *Memorix Kinderchirurgie*, 1st ed. Weinheim, Deutschland: Chapman & Hall-Verlag, 1997.
- [34] L Böhler, *Technik der Knochenbruchbehandlung*, 1213th ed. Wien, Österreich: Maudrich-Verlag, 1953.
- [35] M Müller, *Chirurgie für Studium und Praxis*, 9th ed. Breisach, Deutschland: Medizinische Verlags- und Informationsdienste, 2008/2009.
- [36] L Böhler, "Die funktionelle Behandlung der typischen Radiusbrüche auf anatomischer und physiologischer Grundlage," *Med Wochenschr*, vol. 66, p. 1185, 1919.
- [37] M Rueger, W Linhart, DW Sommerfeldt, "Differentialindikation zur Behandlung der distalen Radiusfraktur," *Trauma und Berufskrankheit*, vol. 1, pp. 6-14, 1998.
- [38] N Menche, U Bazlen, T Kommerell, *PFLEGE HEUTE Lehrbuch und Atlas für Pflegeberufe*, 2nd ed. München, Deutschland: Urban& Fischer-Verlag, 2001.
- [39] R Zimmermann et al., "Spätfolgen nach Frakturen im distalen Unterarmdrittel im Wachstumsalter," *Handchir Mikrochir Plast Chir*, vol. 32, pp. 242-249, Juli 2000.

- [40] EM Thomas, KWR Tuson, PSH Browne, "Fractures of the radius and ulna in children," *Injury Int J Care Injured*, vol. 7, pp. 120-124, 1975.
- [41] JA Roberts, "Angulation of the radius in children's fractures," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 68, pp. 751-754, 1986.
- [42] R Zimmermann, M Gschwentner, S Pechlaner, M Gabl, "Remodeling capacity and functional outcome of palmarly versus dorsally displaced pediatric radius fractures in the distal one-third," *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 124, pp. 42-48, Oktober 2004.
- [43] DR Davis, DP Green, "Forearm fractures in children. Pitfalls and complications," *Clin Orthop*, vol. 120, pp. 172-184, Oktober 1976.
- [44] BE Nilsson, K Obrant, "The range of motion following fracture of the shaft of the forearm in children," *Acta Orthop Scand*, vol. 48, no. 6, pp. 600-602, 1977.
- [45] CT Price, DS Scott, ME Kurzner, J Flynn, "Malunited Forearm Fractures in Children," *J Pediatr Orthop*, vol. 10, no. 6, pp. 705-712, 1990.
- [46] JS Daruwalla, "A study of radioulnar movements following fractures of the forearm in children," *Clin Orthop Relat Res*, vol. 139, pp. 114-120, April 1979.
- [47] K Noonan, R Carl, "What is the best treatment for forearm fractures," in *Evidence-based orthopaedics: the best answers to clinical questions*, JG Wright. Philadelphia, USA: Saunders Elsevier, 2008, pp. 184-187, Kapitel 26.
- [48] MP Hahn, D Richter, G Muhr, PAW Ostermann, "Forearm fractures in children. Diagnosis, treatment, and possible complications," *Der Unfallchirurg*, vol. 100, no. 10, pp. 760-769, 1997.
- [49] F Povacz, *Geschichte der Unfallchirurgie*, 2nd ed. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2007.
- [50] PM Simic, AJ Weiland, "Fractures of the Distal Aspect of the Radius: Changes in Treatment over the Past Two Decades," *J Bone Joint Surg*, vol. 85, no. 3, pp. 552-564, März 2003.
- [51] W Kramer, W Neugebauer, B Schönemann, G Maier, "Ergebnisse konservativer Behandlung distaler Radiusfrakturen," *Langenbecks Arch Chir*, vol. 367, no. 4, pp. 247-258, 1986.
- [52] HA Peterson, *Epiphyseal growth plate fractures*, 1st ed. New York, USA: Springer-Verlag, 2007.
- [53] HG Dietz, "Grundlagen der konservativen Frakturbehandlung," in *Praxis der Kinder- und*

- Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenbecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 56-65/5. Kapitel.
- [54] IH Kalfas, "Principles of bone healing," *Neurosurg Focus*, vol. 10, no. 4, pp. 7-10, April 2001.
- [55] H Breitfuss, A-M Weinberg, G Muhr, "Wachstumsphänomene bei Frakturen im Kindesalter: Spontankorrekturen und Wachstumsstörungen," in *Unfallchirurgie im Kindesalter*, A-M Weinberg, H Tscherne. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag, 2006, vol. I, pp. 39-49.
- [56] JH Wolf, "Julius Wolff und sein Gesetz der Transformation der Knochen," *Orthopädie*, vol. 24, pp. 378-386, 1995.
- [57] WG Lange, W Roux, *Die funktionelle Anpassung, ihre Grenzen, ihre Gesetze in ihrer Bedeutung für die Heilkunde*. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag, 1917.
- [58] JA Ogden, JK Beall, MHS Conlogue, TR Light, "Radiology of postnatal skeletal development. IV. Distal radius and ulna," *Skel Radiol*, vol. 6, no. 4, pp. 255-266, 1981.
- [59] JW Pritchett, "Growth plate activity in the upper extremity," *Clin Orthop*, vol. 268, pp. 235-242, Juli 1991.
- [60] A Katzer, NM Meenen, M Dallek, A Heusinger, JM Rueger, "Die Behandlung von Unterarmfrakturen bei Kindern," *Europ J Trauma Emerg Surg*, vol. 6, pp. 254-266, Dezember 1999.
- [61] JW Pritchett, "Growth and development of the distal radius and ulna," *J Pediatr Orthop*, vol. 16, no. 5, pp. 575-577, Oktober 1996.
- [62] KSI Friberg, "Remodelling after distal forearm fractures in children. I. The effect of residual angulation on the spatial orientation of the epiphyseal plates," *Acta Orthop Scand*, vol. 50, no. 5, pp. 537-546, 1979.
- [63] S Ryöppy, EO Karaharju, "Alteration of epiphyseal growth by an experimentally produced angular deformity," *Acta Orthop Scand*, vol. 45, no. 1-4, pp. 490-498, Dezember 1974.
- [64] KS Friberg, "Remodelling after distal forearm fractures in children. III. Correction of residual angulation in fractures of the radius," *Acta Orthop Scand*, vol. 50, no. 6 Pt 2, pp. 741-749, Dezember 1979.
- [65] JC Hughston, "Fractures of the forearm in children," *J Bone Joint Surg (Am)*, vol. 44, no. 8, pp. 1678-1693, Dezember 1962.

- [66] WE Linhart, L von Laer, "General considerations in the management of paediatric injuries," *Orthopädie*, vol. 34, no. 11, pp. 1169-1186, November 2005.
- [67] RK Gandhi, P Wilson, JJ Mason Brown, W MacLeod, "Spontaneous correction of deformity following fractures of the forearm in children," *Br J Surg*, vol. 50, no. 219, pp. 5-10, Juli 1963.
- [68] L Oenne, PH Sandblom, "Late results in fractures of the forearm in children," *Acta Chir Scand*, vol. 98, no. 3-6, pp. 549-567, September 1949.
- [69] H Laurer, A Sander, S Wutzler, F Walcher, I Marzi, "Therapieprinzipien distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter," *Der Chirurg*, vol. 80, no. 11, pp. 1042-1052, Juli 2009.
- [70] PP Schmittenebecher, HG Dietz, S Uhl, "Spätergebnisse nach Unterarmfrakturen im Kindesalter," *Der Unfallchirurg*, vol. 94, no. 4, pp. 186-190, 1991.
- [71] F Czerny, W Linhart, JM Rueger, D Sommerfeldt, A Pannike, "Frakturen im Bereich des Unterarms bei Kindern," *Unfallchirurgie*, vol. 20, no. 4, pp. 203-210, Mai 1994.
- [72] M Oberle, W Schlickewei, "Unterarm," in *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenebecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 325-328/17. Kapitel.
- [73] E Larsen, D Vittas, S Torp-Pedersen, "Remodeling of angulated distal forearm fractures in children," *Clin Orthop*, vol. 237, pp. 190-195, Dezember 1988.
- [74] AN Johari, M Sinha, "Remodeling of forearm fractures in children," *J Pediatr Orthop B*, vol. 8, no. 2, pp. 84-87, April 1999.
- [75] L Plánka, P Chalupová, J Skvaril, J Poul, P Gál, "Remodelling ability of the distal radius in fracture healing in childhood," *Rozhl Chir*, vol. 85, no. 10, pp. 508-510, Oktober 2006.
- [76] TF Slongo, L Audigé, "Fracture and dislocation classification Compendium for children. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF)," *J Orthop Trauma*, vol. 21, no. 10 (Suppl.), pp. 135-160, November/Dezember 2007, im Auftrag der AO Pediatric Classification Group.
- [77] SSM Walsh, SN Jarvis, EM Towner, A Aynsley-Green, "Annual incidence of unintentional injury among 54000 children," *Inj Prev*, vol. 2, no. 1, pp. 16-20, 1996.
- [78] LA Landin, "Epidemiology of children's fractures," *J Pediatr Orthop. Part B*, vol. 6, no. 2, pp. 79-83, 1997.
- [79] M Keßler, "Häufige Frakturen des Ober- und Unterarms bei Kindern und Jugendlichen,"

Infoletter Kinderchirurgie 03, vol. 03, pp. 1-11, Oktober 2007.

- [80] L Rennie, CM Court-Brown, JYQ Mok, TF Beattie, "The epidemiology of fractures in children," *Injury, Int J Care Injured*, vol. 38, pp. 913-922, Januar 2007.
- [81] M Lehner, C Menzel, HG Dietz, "Unfälle im Kindesalter," *Hauner Journal*, vol. Heft 2, pp. 47-50, 2010.
- [82] F Overly, DW Steele, "Common pediatric fractures and dislocations," *Clin Ped Emerg Med*, vol. 3, pp. 106-117, 2002.
- [83] S Khosla et al., "Incidence of childhood distal forearm fractures over 30 years. A population- based study," *JAMA*, vol. 290, no. 11, pp. 1479-1485, September 2003.
- [84] DA Bailey, JH Wedge, RG McCulloch, AD Martin, SC Bernhardson, "Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth," *J Bone Joint Surg (Am)*, vol. 71, no. 8, pp. 1225-1231, 1989.
- [85] AM Parfitt, "The two faces of growth: benefits and risks to bone integrity," *Osteoporos Int*, vol. 4, no. 6, pp. 382-398, 1994.
- [86] CL Ogden, KM Flegal, MD Carroll, CL Johnson, "Prevalence and trends in overweight among US children and adolescents, 1999-2000," *JAMA*, vol. 288, no. 14, pp. 1728-1732, 2002.
- [87] L von Laer et al., "Classification and documentation of children`s fractures," *Eur J Trauma*, vol. 26, pp. 2-14, 2000.
- [88] CM Müller-Mai, A Ekkernkamp, *Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoptionen*, 1st ed. Berlin/Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2010.
- [89] T Slongo, L Audigé, D Schneidmüller, L von Laer, "Frakturklassifikationen im Kindesalter," in *Kindertraumatologie*, I Marzi, (Herausgeber), 2nd ed. Berlin/Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag, 2010, pp. 20-29/ 3. Kapitel.
- [90] D Schneidmüller et al., "Development and validation of a paediatric long- bone fracture classification. A prospective multicentre study in 13 European paediatric trauma centres," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 12, no. 89, pp. 1-13, 2011.
- [91] T Slongo, L Audigé, W Schlickewei, J-M Clavert, J Hunter, "Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the pediatric expert group of the AO foundation in collaboration with AO clinical investigation and documentation and the international association for pediatric traumatology," *J Pediatr Orthop*, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, Januar/Februar 2006.

- [92] HJ Kreder et al., "Consistency of AO fracture classification for the distal radius," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 78, no. 5, pp. 726-731, 1996.
- [93] JJW Ploegmakers, K Mader, D Pennig, CCPM Verheyen, "Four distal radial fracture classification systems tested among a large panel of Dutch trauma surgeons," *Injury, Int J Care Injured*, vol. 38, pp. 1268-1272, März 2007.
- [94] L Audigé, J Hunter, AM Weinberg, J Magidson, T Slongo, "Development and evaluation process of a pediatric long- bone fracture classification proposal," *Eur J Trauma*, vol. 30, no. 4, pp. 248-254, Juli 2004.
- [95] P-H Randsborg, EA Sivertsen, "Classification of distal radius fractures in children: good inter- and intraobserver reliability, which improves with clinical experience," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 13, no. 6, Januar 2012.
- [96] P-H Randborg, EA Sivertsen, "Distal radius fractures in children: substantial difference in stability between buckle and greenstick fractures," *Acta Orthop*, vol. 80, no. 5, pp. 585-589, 2009.
- [97] HA Peterson, "Physeal fractures: Part 2. Two previously unclassified types," *J Pediatr Orthop*, vol. 14, no. 4, pp. 431-438, 1994.
- [98] O Kloeters, M Müller, *Crashkurs Chirurgie*, 2nd ed. München, Deutschland: Elsevier GmbH, Urban& Fischer-Verlag, 2007.
- [99] EM Evans, "Fractures of the radius and ulna," *J Bone Joint Surg*, vol. 33-B, no. 4, pp. 548-561, November 1951.
- [100] A van Tongel, P Ackerman, K Liekens, B Berghs, "Angulated greenstick fractures of the distal forearm in children: Closed reduction by pronation or supination," *Acta Orthop Belg*, vol. 77, no. 1, pp. 21-26, 2011.
- [101] R Kraus, "Technische Komplikationen bei der Versorgung von Frakturen," in *Das verletzte Kind. Komplikationen vermeiden, erkennen, behandeln*, L von Laer, (Herausg.), 1st ed. Stuttgart/New York: Georg Thieme-Verlag, 2007, pp. 26-31/ 6. Kapitel.
- [102] K Kawamoto et al., "Incidence of physeal injuries in Japanese children," *J Pediatr Orthop B*, vol. 15, no. 2, pp. 126-130, März 2006.
- [103] GG Dale, WR Harris, "Prognosis of epiphyseal separation: an experimental study," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 40-B, no. 1, pp. 116-122, Februar 1958.
- [104] Dt Ges. f. Unfallchirurgie. (2008, Mai) AWMF online. [Online]. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-

- [105] PLO Broos, IAM Fourneau, DVC Stoffelen, "Fractures of the distal radius. current concepts for treatment," *Acta Orthop Belg*, vol. 67, no. 3, pp. 211-218, Juni 2001.
- [106] P Degenhardt, "Erstversorgung kindlicher Frakturen. Kinderversorgung II," Klinik- und Poliklinik für Kinderchirurgie, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, 10. Berliner Rettungsdienst Symposium 2009.
- [107] J Lieber, P Schmittenebecher, "Indikative Komplikationen bei Skelettverletzungen," in *Das verletzte Kind. Komplikationen vermeiden, erkennen, behandeln*, L von Laer, (Herausg.), 1st ed. Stuttgart/ New York: Georg Thieme-Verlag, 2007, pp. 22-25/ 5. Kapitel.
- [108] M Heinrich, "Grundlagen der Schmerzbehandlung des Kindes," in *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenebecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 22-26/ 3. Kapitel.
- [109] KL Kriwanek, J Wan, JH Beaty, J Pershad, "Axillary block for analgesia during manipulation of forearm fractures in the pediatric emergency department: A prospective randomized comparative trial," *J Pediatr Orthop*, vol. 26, no. 6, pp. 737-740, November/ Dezember 2006.
- [110] JK Evans, SL Buckley, AH Alexander, AT Gilpin, "Analgesia for the reduction of fractures in children: A comparison of nitrous oxide with intramuscular sedation," *J Pediatr Orthop*, vol. 15, no. 1, pp. 73-77, Januar/ Februar 1995.
- [111] JD Luhmann, M Schootman, SJ Luhmann, RM Kennedy, "A randomized comparison of nitrous oxide plus hematoma block versus ketamine plus midazolam for emergency department forearm fracture reduction in children," *Pediatrics*, vol. 118, no. 4, pp. e1078-e1086, Oktober 2006.
- [112] MM Zamzam, KI Khoshhal, "Displaced fracture of the distal radius in children. Factors responsible for redisplacement after closed reduction," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 87-B, no. 6, pp. 841-843, Juni 2005.
- [113] JK Eichinger, U Agochukwu, J Franklin, ED Arrington, EM Bluman, "A new reduction technique for competely displaced forearm and wrist fractures in children: A biomechanical assessment and 4-year clinical evaluation," *J Pediatr Orthop*, vol. 31, no. 7, pp. e73-e79, Oktober/November 2011.
- [114] B Pena, B Krauss, "Adverse events of procedural sedation and analgesia in a pediatric emergency department," *Ann Emerg Med*, vol. 34, no. 4, pp. 483-491, Oktober 1999.

- [115] Th Slongo, "Repositionstechniken," in *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenebecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 68-98/ 6. Kapitel.
- [116] SMK Lee, M Orlinsky, LS Chan, "Safety and effectiveness of portable fluoroscopy in the emergency department for the management of distal extremity fractures," *Ann Emerg Med*, vol. 24, no. 4, pp. 725-730, März 1994.
- [117] KL Devalia, SS Asaad, R Kakkar, "Risk of redisplacement after first successful reduction in pediatric distal radius fractures: sensitivity assessment of casting indices," *J Pediatr Orthop B*, vol. 20, no. 6, pp. 376-381, November 2011.
- [118] M Bhatia, PH Housden, "Redisplacement of pediatric forearm fractures: Role of plaster moulding and padding," *Injury Int J Care Injured*, vol. 37, pp. 259-268, Oktober 2006.
- [119] C Weißer, "Die Knochenbruchbehandlung bei Martin Kirschner und die Entwicklung des Kirschnerdrahtes. Anmerkungen zu einer Idee in der Chirurgie.," *Würzburger medizinische Mitteilungen*, vol. 12, pp. 39-52, 1994.
- [120] FW Schildberg, GO Hofmann, MH Kirschner, "Zum 125. Geburtstag von Martin Kirschner," *Der Chirurg*, vol. 76, no. 1, pp. 85-90, 2005.
- [121] I Marzi, "Grundlagen der operativen Frakturbehandlung," in *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*, HG Dietz, P Illing, PP Schmittenebecher, Th Slongo, DW Sommerfeldt. Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2011, pp. 101-114/ 7. Kapitel.
- [122] AM Worel, T Slongo, "Behandlungsprinzipien," in *Kindertraumatologie*, I Marzi, (Herausgeber), 2nd ed. Berlin/Heidelberg, Deutschland: Springer Medizin-Verlag, 2010, pp. 50-74/6. Kapitel.
- [123] A-M Weinberg, C Castellani, F Amerstorfer, "Elastisch-stabile intramedulläre Marknagelung (ESIN) von Unterarmfrakturen," *Oper Orthop Traumatol*, vol. 20, no. 4/5, pp. 285-296, 2008.
- [124] S Symons, R Persad, M Paterson, "The removal of percutaneous Kirschner wires used in the stabilisation of fractures in children," *Acta Orthop Belg*, vol. 71, no. 1, pp. 88-90, 2005.
- [125] L von Laer, W Linhart, "Einführung," in *Das verletzte Kind. Komplikationen vermeiden, erkennen, behandeln.*, L von Laer, (Herausg.), 1st ed. Stuttgart/New York: Georg Thieme-Verlag, 2007, pp. 3-5/ 1. Kapitel.
- [126] JP Mazzini, JR Martin, "Paediatric forearm and distal radius fractures: risk factors and re-displacement- role of casting indices," *Int Orthop*, vol. 34, no. 3, pp. 407-412, 2010.

- [127] SJ Voto, DS Weiner, B Leighley, "Redisplacement after closed reduction of forearm fractures in children," *J Pediatr Orthop*, vol. 10, no. 1, pp. 79-84, 1990.
- [128] KB Alemdaroglu et al., "Risk factors in redisplacement of distal radial fractures in children," *J Bone Joint Surg*, vol. 90, no. 6, pp. 1224-1230, Juni 2008.
- [129] P-S Marcheix, P Peyrou, B Longis, D Moulies, L Fourcade, "Dorsal distal radius fractures in children: Role of plaster in redisplacement of these fractures," *J Pediatr Orthop B*, vol. 20, no. 6, pp. 372-375, November 2011.
- [130] MT Proctor, DJ Moore, JMH Paterson, "Redisplacement after manipulation of distal radial fractures in children," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 75-B, no. 3, pp. 453-454, Mai 1993.
- [131] ER Bohm, V Bubbar, K Yong Hing, A Dzus, "Above and below-the-ellbow plaster casts for distal forearm fractures in children: A randomized controlled trial," *J Bone Joint Surg*, vol. 88, no. 1, pp. 1-8, Januar 2006.
- [132] GR Webb, RD Galpin, DG Armstrong, "Comparison of short and long arm plaster casts for displaced fractures in the distal third of the forearm in children," *J Bone Joint Surg*, vol. 88, no. 1, pp. 9-17, Januar 2006.
- [133] J Schneider, G Staubli, S Kubat, S Altermatt, "Treating displaced distal forearm fractures in children," *Eur J Trauma Emerg Surg*, vol. 33, no. 6, pp. 619-625, 2007.
- [134] CL Gibbons, DA Woods, C Pailthorpe, Aj Carr, P Worlock, "The management of isolated distal radius fractures in children," *J Pediatr Orthop*, vol. 14, no. 2, pp. 207-210, 1994.
- [135] B Carsi, JC Abril, T Epeldegui, "Longitudinal growth after nonphyseal forearm fractures," *J Pediatr Orthop*, vol. 23, no. 2, pp. 203-207, März/April 2003.
- [136] G Cannata, F De Maio, F Mancini, E Ippolito, "Physeal fractures of the distal radius and ulna: Long- term prognosis," *J Orthop Trauma*, vol. 17, no. 3, pp. 172-179, März 2003.
- [137] CW Tang, RM Kay, DL Skaggs, "Growth arrest of the distal radius following a metaphyseal fracture: Case report and review of literature," *J Pediatr Orthop B*, vol. 11, no. 1, pp. 89-92, Januar 2002.
- [138] SG Royle, "Compartment syndrome following forearm fracture in children," *Injury Int J Care Injured*, vol. 21, no. 2, pp. 73-76, März 1990.
- [139] DS Bae, RK Kadiyala, PM Waters, "Acute compartment syndrome in children: Contemporary diagnosis, treatment, and outcome," *J Pediatr Orthop*, vol. 21, no. 5, pp. 680-688, September/Okttober 2001.

- [140] J Guiral, JP Acosta, JI De Benito, "Acute compartment syndrome as a complication of a distal forearm fracture: Apropos of a case of a child," *Rev Chir Reparatrice Appar Mot*, vol. 81, no. 5, pp. 449-452, 1995.
- [141] American Society for Surgery of the Hand (ASSH). (2011) ASSH-Website. [Online]. <http://www.assh.org/Public/HandAnatomy/Pages/default.aspx>
- [142] A Wölfl, J Redeker, "Dokumentierte Patientenaufklärung. Handchirurgische Eingriffe. Hinweise zum richtigen Verhalten nach Handoperationen," Fachbereich: Basisinformation zum Aufklärungsgespräch, Thieme Compliance GmbH, Erlangen, Patientenaufklärung 2006.
- [143] G Germann, A Harth, G Wind, E Demir, "Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des "Disability of Arm, Shoulder, Hand" (DASH)- Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität," *Der Unfallchirurg*, vol. 106, no. 1, pp. 13-19, 2003.
- [144] Institute for Work and Health; Toronto. (2003) The Dash Outcome Measure. [Online]. www.dash.iwh.on.ca/system/files/./Scoring_DASH_German.pdf
- [145] A Harth, M Becker, A Jester, K Schumacher, G Germann, "DASH- Fragebogen zur Outcome-Messung an der oberen Extremität. Neue Perspektiven in der Qualitätssicherung," *Trauma Berufskrankh*, vol. 10, no. 1, pp. 84-89, 2008.
- [146] M Changulani, U Okonkwok, T Keswani, Y Kalairajah, "Outcome evaluation measures for wrist and hand- which one to choose?," *Int Orthop (SICOT)*, vol. 32, no. 1, pp. 1-6, 2008.
- [147] K Dragowsky, M Müller. (2005-2012) Traumascores. [Online]. http://www.traumascores.com//index.php?option=com_content&task=category§ionid=4&id=27&Itemid=112
- [148] F Wiegand. (2005, Februar) Normwertgrenzen bei Kindern und Jugendlichen. [Online]. <http://www.fwiegand.de/normwert.htm>
- [149] DG Hargreaves, SJ Drew, R Eckersley, "Kirschner wire pin tract infection rates: a randomized controlled trial between percutaneous and buried wires," *J Hand Surg Br*, vol. 29, no. 4, pp. 374-376, August 2004.
- [150] SD Shoemaker, CP Comstock, SJ Mubarak, DR Wenger, HG Chambers, "Intramedullary kirschner wire fixation of open or unstable forearm fractures in children," *J Pediatr Orthop*, vol. 19, no. 3, pp. 329-337, Mai/Juni 1999.
- [151] W Reichmann, "Distal radial fracture in childhood," *Handchirurgie*, vol. 10, no. 4, pp. 179-181, 1978.

- [152] LM Hove, C Brudvik, "Displaced paediatric fractures of the distal radius," *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 128, no. 1, pp. 55-60, Oktober 2007.
- [153] K Jones, DS Weiner, "The management of forearm fractures in children: a plea for conservatism," *J Pediatr Orthop*, vol. 19, no. 6, pp. 811-815, November/Dezember 1999.
- [154] KY Choi, WS Chan, TP Lam, JCY Cheng, "Percutaneous kirschner- wire pinning for severely displaced distal radial fractures in children," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 77-B, no. 5, pp. 797-801, September 1995.
- [155] GV Mani, PW Hui, JCY Cheng, "Translation of the radius as a predictor of outcome in distal radial fractures of children," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 75-B, no. 5, pp. 808-811, September 1993.
- [156] JR Hang, AF Hutchinson, RC Hau, "Risk factors associated with loss of position after closed reduction of distal radial fractures in children," *J Pediatr Orthop*, vol. 31, no. 5, pp. 501-506, Juli/August 2011.
- [157] C Bochang et al., "Immobilisation of forearm fractures in children- extended versus flexed elbow," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 87, no. B, pp. 994-996, Januar 2005.
- [158] JL Walker, M Rang, "Forearm fractures in children: cast treatment with the elbow extended," *J Bone Joint Surg (Br)*, vol. 73, no. B, pp. 299-301, 1991.
- [159] RPM Hendrickx, MM Campo, APW van Lieshout, PAA Struijs, MP van den Bekerom, "Above- or below- elbow casts for distal third forearm fractures in children? A meta-analysis of the literature," *Arch Orthop Trauma Surg*, vol. 131, no. 12, pp. 1663-1671, August 2011.
- [160] KJ Noonan, CT Price, "Forearm and distal radius fractures in children," *J Am Acad Orthop Surg*, vol. 6, pp. 146-156, 1998.
- [161] BA Boyer, B Overton, W Schrader, P Riley, P Fleissner, "Position of immobilization for pediatric forearm fractures," *J Pediatr Orthop*, vol. 22, pp. 185-187, 2002.
- [162] J Sherbino, "How do I treat pediatric wrist fractures?," *Ann Emerg Med*, vol. 54, no. 4, pp. 541-542, 2009.
- [163] S Joulié, JM Laville, F Salmeron, "Posteromedial elastic stable intra- medullary nailing (ESIN) in volarly displaced metaphyso- diaphyseal distal radius fractures in child," *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, vol. 97, no. 3, pp. 330-334, Mai 2011.
- [164] J Lieber, E Schmid, PP Schmittenebecher, "Unstable diametaphyseal forearm fractures: transepiphyseal intramedullary kirschner- wire fixation as a treatment option in

- children," *Eur J Pediatr Surg*, vol. 20, no. 6, pp. 395-398, 2010.
- [165] C Bochang et al., "Are frequent radiographs necessary in the management of closed forearm fractures in children?," *J Child Orthop*, vol. 2, no. 3, pp. 217-220, April 2008.
- [166] S Khan, J Sawyer, J Pershad, "Closed reduction of distal forearm fractures by pediatric emergency physicians," *Acad Emerg Med*, vol. 17, no. 11, pp. 1169-1174, November 2010.
- [167] RW Jordan, DJ Westacott, "Displaced paediatric distal radius fractures- When should we use percutaneous wires?," *Injury, Int. J. Care Injured*, vol. Article in press, pp. 1-4, 2012.
- [168] EB Fung, ML Humphrey, G Gildengorin, N Goldstein, SA Hoffinger, "Rapid remineralization of the distal radius after forearm fracture in children," *J Pediatr Orthop*, vol. 31, no. 2, pp. 138-143, März 2011.
- [169] KS Song, HKW Kim, "Nonunion as a complication of an open reduction of a distal radial fracture in a healthy child: a case report," *J Orthop Trauma*, vol. 17, no. 3, pp. 231-233, März 2003.
- [170] D Krum- Møller, MK Jensen, TB Hansen, "Carpal tunnel syndrome after epiphysiolsysis of the distal radius in a 5- year- old child," *Scand J Plast Reconstr Hand Surg*, vol. 33, pp. 123-124, Oktober 1999.
- [171] RM Kay, GS Khounganian, M Stevanovic, "Late extensor pollicis longus rupture following displaced distal radius and ulna fractures in a child," *J Orthop Trauma*, vol. 18, no. 1, pp. 53-56, Januar 2004.
- [172] H Karutz, "Psychische erste Hilfe bei Kindern- Teil 1: Die psychische Situation von Kindern im Notfallgeschehen," *Rettungsdienst*, vol. 5, no. 25. Jahrgang, pp. 42-46, 2002.
- [173] AV Isaeva, SV Minaev, IuI Sternin, NV Minaeva, "Modern approach to the rehabilitation of children with fractured long tubular bones," *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult*, vol. 3, pp. 29-31, Mai/Juni 2009.

10 Anhang

10.1 Fragebogen mit Anschreiben



Klinikum der Universität München
Kinderchirurgische Klinik und Poliklinik
im Dr. von Haunerschen Kinderspital
Lindwurmstraße 4
D- 80337 München

Abs.: D. Wendling

Familie

München, den 18.11.2011

Sehr geehrte Familie

,

Ihre Tochter/ Sohn hatte sich einen Unterarmbruch zugezogen und war diesbezüglich ambulant bzw. stationär in unserer Klinik behandelt worden.

Wir hoffen, dass die Behandlung erfolgreich war und dass sich Ihre Tochter/ Ihr Sohn gut erholt hat und keine Probleme mehr vorliegen.

Im Rahmen einer Studie wollen wir die Ergebnisse der Patienten im Kindesalter mit Unterarmbrüchen genauer analysieren. Aus diesem Grunde haben wir Ihnen diesen Fragebogen zugesandt, den wir Sie bitten, so gut wie möglich auszufüllen und dann an uns zurückzusenden.

Sollten noch Probleme vorliegen, können Sie gerne einen Termin zur Nachuntersuchung in unserer traumatologischen Sprechstunde (Telefon:089/5160-3145) vereinbaren.

Wir verbleiben mit den besten Grüßen

Ihr

Prof. Dr. H.-G. Dietz
Ltd. Oberarzt d. Kinderchirurgischen Klinik
Leitung Kindertraumatologie

Dr. D. Wendling
Assistenzärztin

Barbara Wieser
Doktorandin

Anlage:

Fragebogen



FRAGEBOGEN

BITTE unbedingt auf angegebenen Unfall beziehen (siehe Unfalldatum!)

Fallnummer:

Unfalldatum:

Bitte Zutreffendes ankreuzen, bzw. ausfüllen:

Selbst ausgefüllt: ☐

von Elternteil ausgefüllt: ☐

Rechtshänder: ☐

Linkshänder: ☐

Erneuter Bruch des selben Unterarms an gleicher Stelle (nicht in der Haunerschen Kinderklinik behandelt):

Ja: ☐ (Datum:) Nein: ☐

Körpergewicht in kg zum Zeitpunkt des Unfalls/Bruchs: ca. kg

Zufriedenheit mit Behandlungsergebnis:

Bezüglich Ästhetik: sehr ☐ mäßig ☐ überhaupt nicht ☐

Bezüglich Funktion: sehr ☐ mäßig ☐ überhaupt nicht ☐

NUR FÜR KINDER AB 8 JAHREN AUSZUFÜLLEN (DASH-Score modifiziert):

Fragen sind natürlich bezogen auf den damals gebrochenen Arm!



Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schultafel abwischen od. Boden wischen	1	2	3	4	5
Gartenarbeit (Kehren etc.)	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Eine Einkaufstasche oder einen Koffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand tragen	1	2	3	4	5
Eine Glühbirne über Kopf auswechseln (Schraubbewegung)	1	2	3	4	5
Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
Rücken waschen	1	2	3	4	5
Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Memory aufdecken, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Arm oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen	1	2	3	4	5



man den Arm frei bewegt
(z. B. Badminton, Frisbee)

Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (z.B. Roller, Radfahren)	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---

In welchem Ausmaß haben Ihre Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
1	2	3	4	5

Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Sehr eingeschränkt	Nicht möglich
1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

	Keine	Leichte	Mäßige	Starke	Sehr starke
Schmerzen in Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Schmerzen in Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit	1	2	3	4	5
Kribbeln (Nadelstiche) in Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Schwächegefühl in Arm oder Hand	1	2	3	4	5
Steifheit in Arm oder Hand	1	2	3	4	5

Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierig- keiten	Geringe Schwierig- keiten	Mäßige Schwierig- keiten	Erhebliche Schwierig- keiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5



Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich

empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Stimme
überhaupt
nicht zu

Stimme
nicht
zu

Weder
Zustimmung
noch
Ablehnung

Stimme
zu

Stimme
sehr zu

1

2

3

4

5

Resultat

Dieser Disability/Symptom Score kann nur berechnet werden, wenn mindestens 26 der 29 Fragen beantwortet wurden. Es gibt 2 verschiedene Formeln, die neuere lautet: $DASH = (Summe\ der\ beantworteten\ Fragen - 1) / Anzahl\ der\ beantworteten\ Fragen \times 25$

FÜR KINDER JEDEN ALTERS: (1-18 JAHRE) evtl. mit Hilfe der Eltern

Bitte Umriss beider Hände bis ca. 5 cm über das Handgelenk hinaus mit einem Stift möglichst genau umfahren. Damals gebrochenen Arm mit einem Kreuz markieren!

Viel Platz hierfür ist auf der Rückseite!

KLEINER ALTERNATIVER „FRAGEBOGEN“ für KINDER UNTER 8 JAHREN:

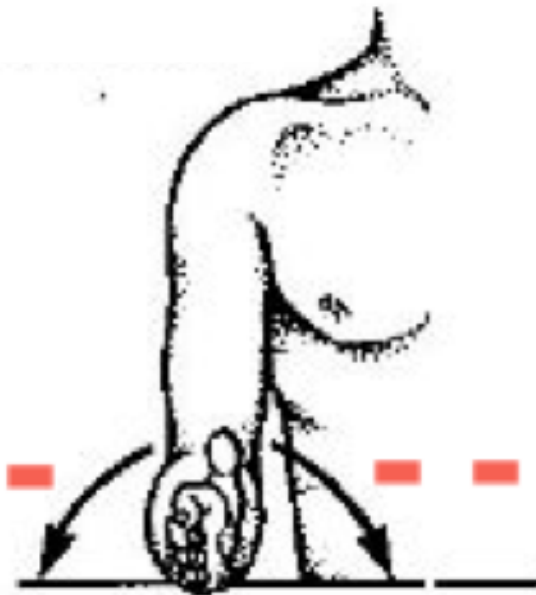
Bitte wo Einschränkungen/Probleme bestehen mit einem, zwei oder drei – Zeichen versehen, je nach Maß der Einschränkung:

- = leichte Einschränkung
- - = mäßige Einschränkung
- - - = starke Einschränkung

so zum Beispiel:

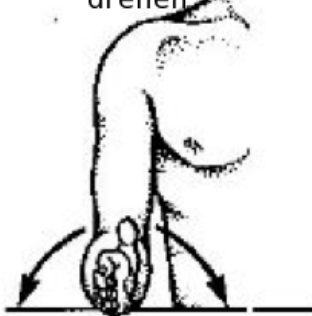
1. Kniebeugen (Kniebeugen)

2. Kniebeugen (Kniebeugen)

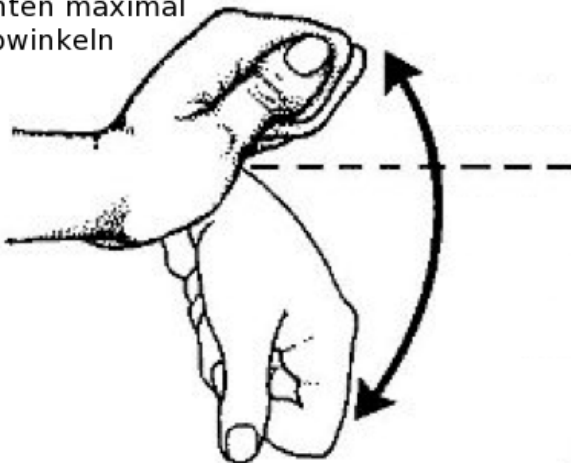




Handkante auf Tischplatte
auflegen und nach li. bzw. re.
drehen



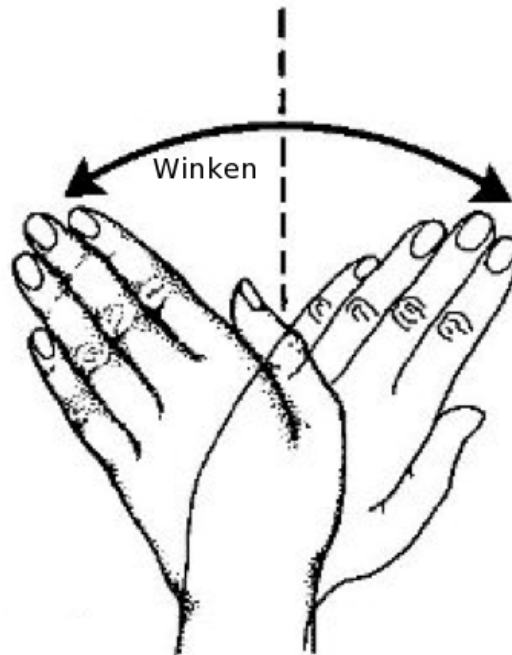
Faust nach oben und
unten maximal
abwinkeln



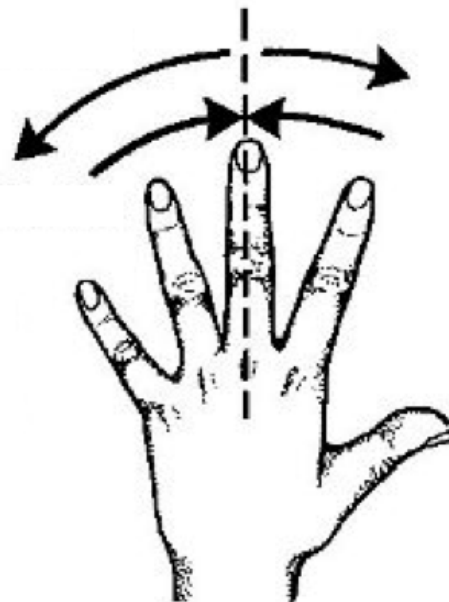
Gestreckte Finger
nach oben und unten
bewegen



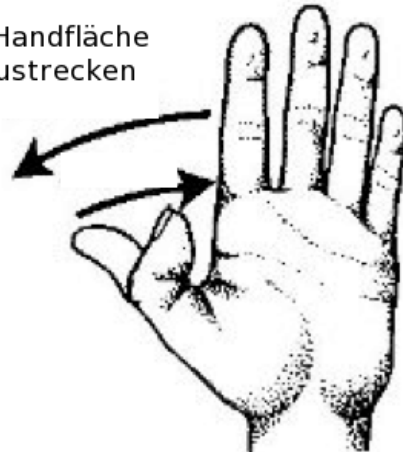
Winken



Finger abspreizen und
zusammendrücken



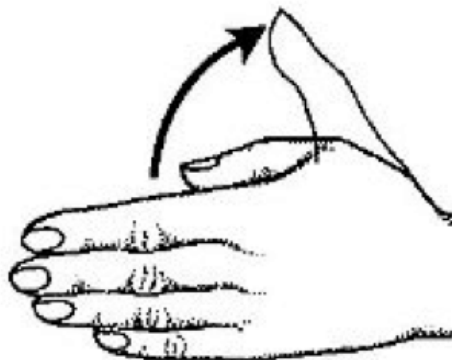
Mit Daumen die Handfläche
berühren und austrecken



Handrücken flach
auf den Tisch legen
und Daumen nach
oben und unten
bewegen



Mit dem Daumen die
Fingerspitzen berühren



Handkante auf Tisch legen
und Daumen an
Zeigefinger anlegen und
wieder ausstrecken

10.2 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Wieser, Barbara
Geburtsdatum	30. April 1985
Geburtsort	86609 Donauwörth
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Eltern	Wieser, Michael,*20.09.1941; Hauptwerkmeister a.D. Wieser, Hermine, geb. Scheidl, *23.09.1951; Kinderkrankenschwester
Geschwister	Wieser, Michaela,*30.12.1980
Familienstand	ledig

Schulausbildung

1991- 1995	Gebrüder-Röls Grundschule, Donauwörth
1995- 2004	Gymnasium Donauwörth, Donauwörth, Abschluss: Abitur (Note: 2,0)
2004- 2005	diverse Praktika

Ausbildung

2005- 2006	Ausbildung zur Gesundheits- und Kinderkrankenpflegerin am Universitätsklinikum Erlangen
------------	---

Studium und Beruf

April 2006	Beginn des zahnmedizinischen Studiums an der Ludwig- Maximilians- Universität München
September 2007	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Oktober 2008	Zahnärztliche Vorprüfung
11.2.2011- 26.07.2011	Staatsexamen Zahnmedizin (Note: 1,6)
seit 05.10.2011	Promotion am Dr. von Haunerschen Kinderspital München
01.04.2012-30.04.2014	Vorbereitungsassistentin in zahnärztlicher Praxis
seit 01.05.2014	angestellte Zahnärztin

11 Danksagung

Allen voran gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. H-G. Dietz, nicht nur für die Überlassung des Themas, sondern auch für die mir stets entgegengebrachte freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit und Überwindung bürokratischer Hürden.

Ebenso gebührt Frau Dr. D. Wendling-Keim mein ganz spezieller Dank für die außerordentlich gute Betreuung, ihre ständige Ansprechbarkeit, ermunternden Worte und konstruktive Kritik.

Ganz herzlich möchte ich mich auch bei den Bibliothekarinnen des Dr. von Haunerschen Kinderspitals Frau A. Krehl und Frau V. Spiess bedanken, die meine monatelange Belegung des Computers geduldig ertrugen und immer ein Ohr für meine Sorgen und Nöte hatten.

Vielen Dank an Herrn Ghobadisanjani, der bei der Aktenrecherche selbst etliche Leitern erklimmte, um die passenden Patientenakten aus verschiedensten Archiven zu besorgen und mich durch diesen Irrgarten begleitete.

Allen Mitarbeitern der kinderchirurgischen Ambulanz gebührt mein Dank für die entspannte Kooperation, auch während stressiger Zeiten, sowie den Kinderradiologen Herrn Dr. med. K. Schneider, Frau Dr. med. B. Kammer, Frau Dr. med. V. Teusch und Frau Dr. med. I. Krüger-Stollfuß für die zur Verfügung gestellten, perfekten radiologischen Befundungen, ohne die keine derartig einheitliche und zuverlässige Diagnostik möglich gewesen wäre.

Herrn Dipl. Ing. S. Müller- Meerkatz danke ich für seine aufmunternden Worte, seine tatkräftige Unterstützung im Kampf mit dem Statistikprogramm und die vielen Stunden geduldigen Erklärens und Anleitens.

Zu guter Letzt danke ich auch meinen Eltern und Korrektur lesenden Freunden, die mir erst die Möglichkeit gaben, diesen Weg zu beschreiten und ihn mit stets offenen Ohren und stützender Hilfe mit mir gingen.

Eidesstattliche Versicherung

Wieser, Barbara

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Die Therapie der dislozierten distalen Radiusfraktur im Kindesalter

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Muenchen, d. 18.12.2014

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand